

TEKNILLINEN KORKEAKOULU

Prosessi- ja materiaalitekniikan osasto

Puunjalostustekniikan laitos

Aki Niemi

**PAPERIKONEEN MÄRKÄÖSAN TOIMINNAN VAIKUTUS
RAINAN IRROTUKSEEN PURISTINOSAN TELOILTA**

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi diplomi-
insinöörin tutkintoa varten Espoossa 14.10.1994.

Työn valvoja

prof. Hannu Paulapuro

Työn ohjaaja

DI Martti Tissari

Tekijä, työn nimi

Aki Niemi

Paperikoneen märkäosan toiminnan vaikutus rainan irrotukseen puristinosan teloilta

Päivämäärä: 14.10.1994

Sivumäärä: 118 s.

Osasto, laitos, professuuri

Prosessi- ja materiaalitekniikan osasto, Puunjalostustekniikan laitos, Puu-21 Paperitekniikka

Työn valvoja

prof. Hannu Paulapuro

Työn ohjaaja

DI Martti Tissari

Paperikoneiden ajettavuutta rajoittaa usein puristinosalla esiintyvät irrotusvaikeudet. Lujuusominaisuuksien rajoittaessa graniitin käyttöä telamateriaalina korvaavien telamateriaalien kehitys on lisännyt kiinnostusta selvittää irrotukseen vaikuttavia tekijöitä. Lisäksi ajonopeuksien nousu ja vesikiertojen sulkeminen ovat lisänneet irrotusvaikeuksien merkitystä. Viime aikoina on yhä enemmän alettu ymmärtämään ja painottamaan prosessista aiheutuvien irrotusvaikeuksien merkitystä ajettavuuden kannalta. Työn tavoitteena oli selvittää paperikoneen märkäosan muutosten vaikutusta radan irrotukseen puristinosalla.

Työssä haastateltiin paperitehtaiden kokemuksia ja näkemyksiä irrotukseen vaikuttavista muuttujista. Haastatteluiden perusteella irrotukseen vaikuttavat radan ja massojen ominaisuudet, kosteus, sekä telan karheus. Kaavarointi vaikuttaa kokemusten mukaan irrotusvaikeuksien kautta koneen ajettavuuteen erityisesti, kun kaavari ei puhdistu telan pintaa kunnolla. Kosteuteen vaikuttaa merkittävästi puristinhuovat, lämpötila/höyrylaatikko, freeness, retentio sekä radan ominaisuudet. Myös kemiallisen tilan muutoksilla sekä siitä johtuvalla likaantumisella epäillään olevan merkitystä irrotukseen ja ajettavuusvaikeuksiin, mutta niiden merkitystä ei ole pystytty useimmissa tehtaissa luotettavasti todistamaan.

Märkäosan vaikutuksia irrotukseen tutkittiin SC-paperikoneella, jossa prosessiseurantaan käytettiin KCL-WEDGE:ä. Kuuden viikon seurantajakson aikana vetoeron vaihtelu oli suhteellisen vähäistä. Irrotukseen vaikuttivat radan ominaisuuksien muutokset lähinnä tuhkapitoisuuden neliömassan, freenessin, lämpötilan ja kosteuden kautta. Lisäksi näillä tekijöillä oli tulosten perusteella ristikkäisvaikutuksia, jotka olivat monissa tapauksissa vastakkaisia irrotuksen suhteen. Koejakson aikana selvästi eniten irrotukseen vaikutti märkäosan liuenneen ja kolloidisen orgaanisen aineksen lisääntyminen. Lisäksi viereisen koneen kiertovesi aiheutti kemiallisen tasapainon muutoksia. Nämä aiheuttivat likaantumista ja saostumia, joiden vaikutuksesta irrotus vaikeutui selvästi ja katkoja sekä reikiä oli enemmän. Tulosten perusteella pihkaa saattaa kertyä kalvoksi telan pintaan ilman, että muodostunutta kalvoa havaitaan visuaalisesti. Kalvo vaikeuttaa irrotusta sekä aiheuttaa kaavarin tärinää ja läpilaskua.

Tuloksien merkitystä tarkasteltaessa tulee huomioida, että paperikoneiden märkäosan kemia vaihtelee koneiden välillä. Tämän johdosta tulokset eivät ole suoraan sovellettavissa muihin kohteisiin. Eri tekijöiden väliset järjestykset voivat olla erilaisia tilanteen ja tarkastelukohteen mukaan. Tulokset kuitenkin osoittavat, että märkäosan kemian hallinnalla on suuri merkitys ajettavuusvaikeuksien ehkäisyssä. Tämän johdosta koko märkäosan hallintaa tulee kehittää, jotta haitallisilta tasapainon muutoksilta vältytään. PH:n vaikutuksia on syytä tutkia jatkossa lisää, koska työssä saatiin viitteitä irrotusoptimista/-optimeista pH:n funktiona.

ALKUSANAT


Tämä työ on tehty Valmet Paperikoneet Oy:ssä, Rautpohjan yksikön projektiosastolla vuoden 1994 aikana. Työn valvojana toimi professori Hannu Paulapuro ja työn ohjaajana toimi DI Martti Tissari. Haluan kiittää heitä saamastani avusta ja hyvistä neuvoista. Lisäksi haluan kiittää DI Juhani Vestolaa hänen antamastaan suuresta avusta työni edistymiseksi. Työtä tehdessäni sain hyviä neuvoja KCL:n FM Leo Neimolta sekä FM Timo Korvelta, joille olen kiitollinen saamastani tuesta.

Projektiosaston tiimiä kiitän lämpimästä vastaanotosta ja miellyttävästä työskentelyilmapiiristä.

Vaimolleni Annelle olen syvästi kiitollinen sitkeästä kannustuksesta ja tuesta koko opiskeluaikana. Hänen ansiostaan työvireeni säilyi hyvänä koko ajan. Myös vanhempani ovat kiitettävällä tavalla kannustaneet henkisesti ja taloudellisesti koko opiskeluajan.

Haluan välittää lämpimät kiitokset opiskelukavereilleni kaikista illanistujaisista ja kahvipöytäkeskusteluista. Haikkeudella ja toisaalta ilollakin voi todeta yhden elämänvaiheen olevan päättymässä.

Jyväskylässä 14.10.1994



Aki Niemi

SISÄLLYSLUETTELO

I. JOHDANTO	1
-------------------	---

II TEORIAOSA

1. ADHEESION JA IRROTUSTAPAHTUMAN TEORIAA	2
1.1. Adheesiovoimat	2
1.2. Pintaenergian määrittäminen	3
1.2.1. Kiinteän aineen pintaenergian määrittäminen	5
1.2.2. Kosketuskulman hystereesi	7
1.3. Irrotustyön teoriaa	8
1.3.1. Irrotustyön perusteet	8
1.3.2. Adhesiivin vaikutus	9
1.3.3. Nukkautuminen	10
1.3.4. Happon- emäsvuorovaikutukset	11
1.4. Dynaaminen kastuminen	12
2. RAINAN IRROTUSTAPAHTUMA	14
2.1. Prosessimuuttujien vaikutus irrotustyöhön	14
2.1.1. Irrotuskulma	14
2.1.2. Ajonopeus	15
2.1.3. Kuiva-ainepitoisuus ja neliömassa	16
2.1.4. Massalaji ja jauhatus	19
2.2. Telan pintaominaisuuksien vaikutus irrotustyöhön	22
2.2.1. Tartuntakerros	23
2.2.2. Lämpötila	24
2.2.3. Karheus	25
2.2.4. Kastuvuus	27
2.2.5. Yhteenvedo	28
2.3. Rainan irrotuksessa alkava repeämä	28
2.4. Radan stabiilisuus avoimessa viennissä	29

3. GRANIITTI JA KORVAAVAT TELAMATERIAALIT	31
3.1. Graniitti	31
3.2. Komposiittipinnoitteet	33
3.2.1. Kumipohjaiset päällysteet	33
3.2.2. Polyuretaani- ja epoksitäytteiset pinnoitteet	34
3.2.3. Metalli- ja keraamipinnoitteet	36
3.3. Pinnoitteiden yleisyys	38
4. MÄRKÄOSAN VAIKUTUS RAINAN IRROTUKSEEN	40
4.1. Rainaus ja märkäpuristus	40
4.1.1. Viiraosa	40
4.1.2. Retentio	41
4.1.3. Märkäpuristus	42
4.2. Kiertovesijärjestelmä	42
4.2.1. Kiertoveden laatuun vaikuttavat tekijät	42
4.2.2. Kiertoveden luonnehtiminen	44
4.2.3. Liuenneet aineet	45
4.2.4. Kiertoveden puhdistus	50
4.3. Hapan prosessi	51
4.3.1. Mekaaninen massa	52
4.3.2. Kemiallinen massa	58
4.3.3. Päällystetty hylky	59
4.4. Neutraali/alkalinen prosessi	60
4.4.1. Mekaaninen massa	62
4.4.2. Kemiallinen massa	64
4.5. Siistausmassa	65
4.6. Prosessin hallittavuuden parantaminen	68
5. MÄRKÄOSAN SEURANTA	69

III KOKEELLINEN OSA

6. KÄYTÄNNÖN KOKEMUKSET JA HAVAINNOT	72
6.1. Haastattelututkimus	72
6.1.1. Perustiedot	72
6.1.2. Massan jauhatusaste	73
6.1.3. Kuiva-ainepitoisuus	74
6.1.4. Ajonopeus	75
6.1.5. Orientaatio	75
6.1.6. Vetoero	76
6.1.7. Irrotuskohta ja irrotuskulma	76
6.1.8. Nippipaineet	76
6.1.9. Telamateriaalit	77
6.1.10. Kaavarointi	77
6.1.11. Voitelusuihkut	78
6.1.12. Puristinhuovat	79
6.1.13. Höyrylaatikko	79
6.1.14. Perälaatikon lämpötila	80
6.1.15. Perälaatikon pH	80
6.1.16. Retentio	80
6.1.17. Prosessi ja lisäaineet	82
6.1.18. Tulosten yhtenevyys kirjallisuuden kanssa	84
6.2. Telan pinnan lika-analyysit	86
6.2.1. Näyte A	86
6.2.2. Näyte B	86
6.2.3. Näyte C	88
6.2.4. Näyte D	88
6.2.5. Käytännön kokemuksia	89

7. IRROTUSTUTKIMUS TUOTANTOKONEELLA	90
7.1. Kosteus	91
7.1.1. Tuhkapitoisuus	91
7.1.2. Freeness	91
7.1.3. Puristinhuovat	93
7.1.4. Höyrylaatikko	94
7.1.5. Massan lämpötila	96
7.2. Radan koostumus	96
7.3. Ajonopeus	98
7.4. Neliömassa	98
7.5. Kemialliset muutokset	99
7.5.1 Valkaisu	99
7.5.2. Retentio	100
7.5.3. PH:n vaikutus	101
7.5.4. Kiertoveden kemiallisen tasapainon muutos	104
7.6. Matemaattiset tulkinnot	105
7.7. Tulosten merkitysten ja luotettavuuden arviointi	106
 8. IRROTUKSEN MONIMUUTTUJA-ANALYYSI	109
 9. YHTEENVETO	110
 LÄHDELUETTELO	112
 LIITTEET	

I. JOHDANTO

Paperikoneiden ajettavuutta rajoittaa usein puristinosalla esiintyvät irrotusvaikeudet. Nopeuksien nousu ja neliömassan laskeva trendi ovat johtaneet tarpeeseen vähentää puristintelatartuntaa sekä parantaa tartunnan hallintaa. Graniitin ominaisuuksien tultua äärirajoille uusien korvaavien materiaalien käyttö vaativissa oloissa on tuonut esiin ongelmia, joita ei esiintynyt graniitin käyttöalueella. Lisäksi prosessien sulkemisasteen nousu ja uusien raaka-aineiden sekä kemikaalien käyttö ja lisääntyvä tieto ovat lisänneet kiinnostusta selvittää prosessin aiheuttamia irrotusvaikeuksia.

Työn tavoitteena oli selvittää tekijöitä, jotka vaikuttavat radan irrotukseen puristinosan teloilta. Erityisesti pyrittiin selvittämään paperikoneen märkäosan vaikutuksia radan irrotukseen. Liian voimakkaasti telan pintaan kiinnittynyttä paperirataa joudutaan irrotusvaiheessa vetämään enemmän, jolloin paperin lujuusominaisuudet heikkenevät ja koko linjan tuotantotehokkuus kärsii aina painotalolle asti. Paperiin saattaa muodostua myös vikoja, kun liiallisen adheesion seurauksena kuituja tai kokonaisia paperiradan alueita jää telan pintaan irrotusvaiheessa. Pahimmillaan rata voi kiinnittyä telan pintaan niin voimakkaasti, että rata katkeaa irrotusvaiheessa. Tällöin taloudelliset menetykset lisääntyvät hyvin nopeasti.

Suuresta taloudellisesta merkityksestä ja toistaiseksi vielä melko vähäisestä tietämyksestä johtuen radan irrotusta tutkitaan tällä hetkellä useissa tutkimusprojekteissa, joissa on mukana sekä tutkimuslaitoksia, paperitehtaita että myös konevalmistaja. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli hankkia käytännönläheistä tietoa, jota voitaisiin soveltaa suoraan paperinvalmistuksessa esiintyviin irrotusongelmiin. Lisäksi tavoitteena oli ymmärtää paremmin prosessin merkitystä irrotuksessa.

II TEORIAOSA

1. ADHEESION JA IRROTUSTAPAHTUMAN TEORIAA

1.1. Adheesivoimat

Märän paperirainan taipumus tarttua puristintelan pintaan riippuu voimakkaasti kontaktipinnan yli vaikuttavista adheesivoimista. Adheesiolla tarkoitetaan tilaa, missä kaksi eri faasia ovat kiinnittyneet toisiinsa siten, että voimia tai työtä voidaan siirtää rajapinnan yli. Adhesiiviksi kutsutaan ainetta, joka sitoo kaksi adheesiopintaa, adherendin ja substraatin, toisiinsa. Kostean rainan ja telan pinnan välisenä sitovana väliaineena toimii rainan vesi liuenneine aineineen ja kolloideineen. /1/

Rajapinnassa vaikuttavat voimat voivat olla mm. van der Waalsin voimia, elektrostaattisia voimia ja kemiallisia sidoksia. Systemin mekaaninen lujuus riippuu myös faasien välisen rajavyöhykkeen ja faasien mekaanisista ominaisuuksista. Adheesivoimien on todettu johtuvan pääosin van der Waalsin ns. sekundäärisistä voimista. Ne voidaan jaotella seuraavasti:

1. polaariset voimat eli Keesom-voimat, jotka syntyvät pysyvien dipolien orientoitumisesta
2. polaroitavien molekyylien dipoli-induktiosta aiheutuvat Debye-voimat
3. Londonin dispersiovoimat, jotka liittyvät molekyylin elektroniverhon varausjakauman muutoksiin. /1/

Keesom- ja Debye-voimat ovat poolisia voimia ja Londonin voimat dispersiovoimia eli poolittomia voimia. Dispersiovoimat ovat merkitykseltään tärkeimpiä. Sekundäärisiin voimiin kuuluvat myös vetysidosvoimat, joita saattaa esiintyä happo-emäsvuorovaikutuksissa paperikoneen puristinpinnoilla. /1/

1.2. Pintaenergian määrittäminen

Hyvän adheesio perusedellytyksenä on substraatin hyvä kastuminen eli nesteen leviäminen pinnalle. Nesteen pinnassa olevien molekyylien välinen etäisyys on pienempi kuin bulkkifaasissa. Tällöin pintaan kohdistuu sisäänpäin suuntautunut vetovoimien resultantti. Neste pyrkii minimoimaan pinta-alansa, ja vetäytyy siten kohti ihanteellisen pallon muotoa. Pinta käyttäytyy kuin se olisi jännityksen alaisena. Tätä kutsutaan pintajännitykseksi. Pinnan laajentamiseksi olisi tuotava molekyyliä faasin sisältä, eli tehtävä työtä voimaa vastaan. Vapaa ominaispinta-energia on se työ, joka tarvitaan pinnan suurentamiseen yhden yksikön verran. Puhtailla nesteillä energia ja pintajännitys ovat samansuuruisia. /1/

Kun nestetippa asetetaan kiinteälle pinnalle, se voi levitä eli kastaa pinnan, tai jäädä pisarana pinnalle muodostaen tietyn kosketuskulman pinnan kanssa. Rajapinnassa vaikuttavien voimien tasapainottuessa pinnan suuntaiset jännitykset ovat yhtä suuret, eli

$$\gamma_{as} = \gamma_{ns} + \gamma_{an} \cos \theta \quad (1)$$

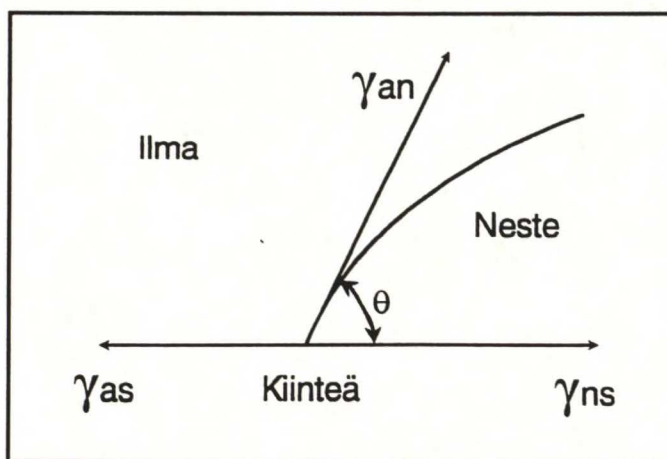
, missä

γ_{as} on kiinteän aineen ja ilman välinen rajapintaenergia

γ_{ns} on nesteen ja ilman välinen rajapintaenergia

γ_{an} on nesteen ja kiinteän aineen välinen rajapintaenergia

θ on nesteen ja kiinteän aineen välinen kosketuskulma



Kuva 1. Ilma-neste-kiinteä rajapinnassa vaikuttavat pintajännitykset. /1/

Yhtälö on tarkalleen voimassa ihanteellisessa tasapainokosketuksessa nesteen kylästettyyn höyryyn eikä ilmaan. /1/

Kastumista ja kosketuskulman välistä riippuvuutta voidaan tarkastella myös energettisestä näkökulmasta. Jos nesteen ja kiinteän pinnan välistä rajapintaa supistetaan yhdellä pinta-alayksiköllä, niin ilman ja pinnan sekä ilman ja nesteen väliset rajapinnat kasvavat molemmat pinta-alayksikön verran. Suoritettu työ on Duprén yhtälön /1/ perusteella:

$$W_{ns} = \gamma_{as} + \gamma_{an} - \gamma_{ns} \quad (2)$$

W_{ns} on kiinteän pinnan ja nesteen välinen adheesiotyö.

Yhdistämällä yhtälöt (1) ja (2) saadaan Youngin yhtälö /1/:

$$W_{ns} = \gamma_{an}(1 + \cos\theta) \quad (3)$$

Youngin yhtälön perusteella kutsutaan adheesiotyön laskemiseksi mitattavaa kosketuskulmaa usein Youngin kulmaksi tai rajakulmaksi. Jos kosketuskulma on 0° , niin pinta kastuu täydellisesti. 180° kulma merkitsisi, ettei nesteen ja pinnan välillä ole mitään adheesiota. Tilanne ei ole mahdollinen, sillä kahden faasin ollessa kosketuksissa toisiinsa esiintyy aina jonkinasteista adheesiovuorovaikutusta. /1/

Eri pinnat voidaan jaotella karkeasti esimerkiksi seuraavilla tavoilla /1/:

- * hydrofiilinen (vesihakuinen, kosketuskulma alle 90°) / hydrofobinen (vettä hylkivä, kosketuskulma yli 90°)
- * oleofiilinen (öljyhakuinen) / oleofobinen (öljyä hylkivä)
- * suurienerginen / pienienerginen

1.2.1. Kiinteän aineen pintaenergian määrittäminen

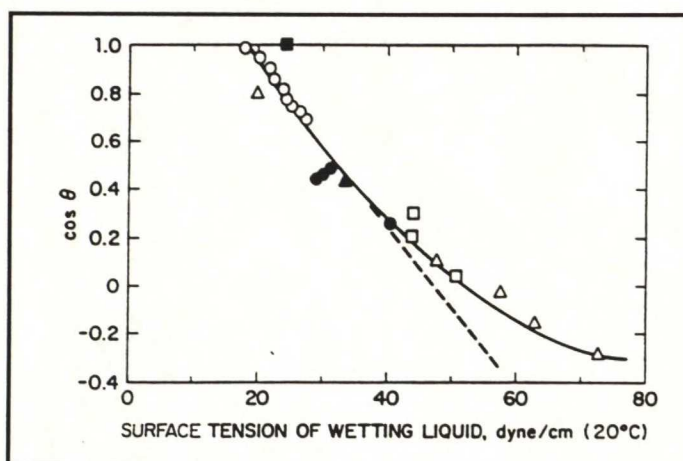
Pienienergiset pinnat ovat yleensä pehmeitä ja kevyitä ja niiden pintaenergia on $< 100 \text{ mJ/m}^2$. Tällaisia ovat mm. vesi, epäorgaaniset keraamit, polymeerit, kumit ja monet orgaaniset aineet. Suurienergiset pinnat ovat kovia ja tiheitä ja niiden pintaenergia on $100 - 5000 \text{ mJ/m}^2$. Suurienergisia pintoja ovat metallit, useat metallioksidit ja epäorgaaniset aineet, kuten kvartsi ja timantti. /1/

Kiinteän aineen pintaenergian määrittämiseksi ei ole suoraa menetelmää. Mittaus voidaan suorittaa epäsuorasti, ja epäsuorista menetelmistä yleisimmäksi on tullut Zismanin kriittisen pintaenergian määrittämismenetelmä. /1/

Nesteiden kosketuskulmat ihanteellisen pienienergisen pinnan kanssa noudattavat Zismanin mukaan seuraavaa lauseketta /1/:

$$\cos\theta = 1 + b(\gamma_c - \gamma_n) \quad (4)$$

, missä b on lähes vakioarvoinen verrannollisuuskerroin
 γ_n on nesteen pintajännitys
 γ_c on kiinteän aineen kriittinen pintaenergia.



Kuva 2. Kriittisen pintaenergian määrittäminen Zismanin menetelmällä nestesarjan avulla. /1/

Tutkittavan kiinteän aineen pinnalle asetetaan pintajännitykseltään erilaisten nesteiden pisaroita. Kosketuskulmat mitataan ja piirretään $\cos \theta$ vs. γ_n . Ekstrapoloimalla arvoon $\cos \theta = 1$ voidaan määrittää sen nesteen pintaenergia, joka juuri ja juuri leviää tutkittavalle pinnalle. Tämä arvo on suuruudeltaan kiinteän aineen kriittisen pintaenergian suuruinen.

Zismanin menetelmä ei huomioi kiinteän aineen ja nesteen välillä olevia poolisuuseroja. Pintaenergia voidaan jakaa dispersio- ja poolisuuskomponentteihin. Poolittomilla aineilla pintaenergia määräytyy yksin dispersiokomponentista. Poolisilla aineilla pintaenergia ajatellaan additiiviseksi [1]:

$$\text{Kiinteälle faasille} \quad \gamma_s = \gamma_s^d + \gamma_s^p \quad (5)$$

$$\text{Nesteelle} \quad \gamma_n = \gamma_n^d + \gamma_n^p \quad (6)$$

Yläviitteet d ja p viittaavat dispersio- ja poolisuuskomponentteihin. Vuorovaikutusten resultantit voidaan asettaa osapuolten komponenttien geometrinen keskiarvojen suuruiseksi. Kun lisäksi huomioidaan Youngin yhtälö (3) saadaan

$$\gamma_n(\cos \theta + 1) = 2\sqrt{\gamma_n^d \gamma_s^d} \quad (7)$$

Sijoittamalla lauseke (6) saadaan

$$\cos \theta = 2 \frac{\sqrt{\gamma_n^d \gamma_s^d}}{\gamma_n^d + \gamma_n^p} + 2 \frac{\sqrt{\gamma_n^p \gamma_s^p}}{\gamma_n^d + \gamma_n^p} - 1 \quad (8)$$

Kiinteän aineen pintaenergian määrittäminen perustuu yhtälöön (8). Tutkittavan kiinteän aineen ja koetusnesteiden väliset kosketuskulmat mitataan kahdella poolisuudeltaan selvästi erilaisella nesteellä. Näistä saadaan yhtälöryhmä, josta voidaan ratkaista kaksi tuntematonta, γ_s^d ja γ_s^p . [1]

1.2.2. Kosketuskulman hystereesi

Ihanteelliselle tasopinnalle mitattu kosketuskulma saa tasapainotilanteessa vain yhden arvon. Käytännössä kosketuskulmalle saadaan useampia arvoja, joista suurin ja pienin voidaan yleensä mitata varsin luotettavasti. Suurinta kulmaa θ_r kutsutaan eteneväksi kulmaksi, ja se havaitaan esim. nesteen hitaassa etenemisliikkeessä kuivaa pintaa myöten. Pienintä kulmaa θ_r kutsutaan vetäytyväksi kulmaksi, kun neste vetäytyy jo kastuneelta pinnalta. Tilannetta, jossa etenevä ja vetäytyvä kulma ovat erisuuruisia, kutsutaan kosketuskulman hystereesiksi. /1/

Hystereesi on yleensä voimakkaampi vedellä kuin orgaanisilla nesteillä, ja voi tietyllä nesteellä vaihdella suuresti eri pintojen välillä. Hystereesin suuruus riippuu kiinteän pinnan karheudesta, heterogeenisyydestä, nesteen ja pinnan välisestä kosketusajasta sekä nesteen liikkumisnopeudesta pintaa myöten. Pinnan epäpuhtaudet saattavat aiheuttaa hystereesiä, mutta todellinen vaikutus on usein pintajännityksen muuttuminen, mikä muuttaa kosketuskulmaa. Karheuden vaikutus perustuu osittain siihen, että todellinen pinta-ala on suurempi kuin ideaalinen tasomainen pinta. Tästä johtuen teoreettisten tasaiselle pinnalle johdettujen lausekkeiden tarkkuus heikkenee. /1/

Kiinteän pinnan heterogeenisyys (kemiallinen tai kristallografinen) aiheuttaa myös hystereesiä. Graniittipinnassa ja usein myös keraamisessa pinnassa esiintyy energiakynnyksiä alueilla, jossa Youngin kulma muuttuu. Tämän seurauksena nesteen etureuna pyrkii pysähtymään faasirajoille ja hystereesiä kehittyy. Etenevät kosketuskulmat vastaavat pienienergisiä alueita ja vetäytyvät kulmat suurienergisiä alueita. Järjestelmien pyrkimys kohti pienintä mahdollista pintaenergiatilaa johtaa siihen, että pienienergiset aineet adsorboituvat helposti suurienergisille pinnoille. Suurienerginen pinta pyrkii hanakasti peittymään esim. vesimolekyyli- ja orgaanisilla epäpuhtauskalvolla. Adsorboituneita monokerroksia tavataan yleisesti suurienergisillä pinnoilla ja tämän seurauksena systeemi käyttäytyy pienienergisien tapaan. Pihkatarttuma on pienienergisien saostuman tyypiesimerkki. /1/

1.3. Irrotustyön teoriaa

1.3.1. Irrotustyön perusteet

Raina siirretään puristinosan läpi joko avoimin tai suljetuin viennein. Nykyaikaisilla paperikoneilla ensimmäinen avoin vienti on yleensä kolmannen puristin-
nipin jälkeen, missä raina irrotetaan keskitelalta. Irrotusta hallitaan ratajännityksen (vetoeron) avulla keskitelan ja seuraavan ryhmän välillä.

Jännitys, joka tarvitaan märän rainan irtiottoon pyörivän telan pinnalta, riippuu irrotustyöstä. Irrotustyötä kuvaavat lausekkeet on kehitetty jo 60-luvulla. Irrotustyön matemaattinen tarkastelu on varsin monimutkaista, ja kaikkia tekijöitä ei voida huomioida lausekkeissa. /1, 2, 3/

$$T = \frac{W_r}{1 - \cos \Phi} + mv^2 \quad (9)$$

, missä

T	on rainan minimijännitys
W_r	on rainan irrotustyö
Φ	on rainan ja telan tangenttien välinen kulma irrotuskohdassa
m	on märän rainan neliömassa
v	on rainan nopeus irrotuskohdassa.

Jos ratajännitys on pienempi kuin T yhtälössä (9), ei rainaa voida irrottaa telalta. Irrotuskulma vaikuttaa huomattavasti irrotukseen. Irrotusjännitys on äärettömän suuri, kun Φ on 0° . Teoreettinen minimi saavutetaan, kun Φ on 180° . Käytännössä on havaittu, että minimikohta saattaa esiintyä pienemmässäkin kulmassa. Tämä johtuu yhtälössä (9) tehdystä aproksimaatioista, esim. rainan kaarevuussädetä ei ole huomioitu irrotuskohdan muutoksissa. Nopeuden ollessa alle 200 m/min kineettisen energian vaikutus voidaan jättää huomioimatta, koska sen merkitys on vähäinen. /1/

W_r (yhtälö (9)) ja aiemmin mainittu adheesiotyö (yhtälö (3)) eivät ole aina yhtä suuria. Ne saattavat olla kuitenkin usein toisiaan vastaavia /1/.

Österberg /4/ määrittä vektorianalyysin avulla rainan irrottamiseen vaadittavaksi kokonaistyöksi:

$$W_T = W_S + W_E + W_M = (T - mv^2)(1 - \cos\phi) + T\varepsilon + mv^2\varepsilon\cos\phi \quad (10)$$

, missä ε on venymä.

W_S on kahden pinnan erotustyö

W_E on venymän aiheuttama työ

W_M on rainan hitausmomentin suurentamiseen kulunut työ

Kokonaistyöstä voidaan laskea irrotustyö:

$$W_s = (T - mv^2)(1 - \cos\phi) + T\varepsilon - mv^2\varepsilon(1 - \cos\phi + \frac{\varepsilon}{2}) \quad (11)$$

Mardonin /3/ ja Österbergin /4/ tutkimusten pohjalta Pye et al. /5/ yksinkertaistivat irrotustyön laskemista käytännön tilanteissa seuraavaan muotoon:

$$W = (T - mv^2)(1 - \cos\phi) + \frac{T\varepsilon}{2} \quad (12)$$

Tästä lausekkeesta voidaan laskea käytännön kokeissa etenkin pienillä kulmilla (alle 40°) varsin luotettavia irrotustyön arvoja.

1.3.2. Adhesiivin vaikutus

Jotta adhesiivi pystyisi sitomaan pintoja toisiinsa, sillä täytyy olla nesteen viskoottiset ominaisuudet levitäkseen eli kastaakseen pinnat ja tunkeutuakseen pinnan epätasaisuuksiin. Adhesiivilla täytyy olla myös kiinteän aineen viskoottisia ominaisuuksia, jotta se voi pitää pinnat yhdessä. Adhesiivi saattaa olla kiinteä aine, joka tarvitsee liuottimen, lämpökäsittelyn tai korkean paineen sitomisvaikutuksen toteuttamiseksi. Adhesiivi voi olla myös neste, jolloin polymeroituminen, kalvonmuodostus, saostuma tai poikittaissidosten kehittyminen tarjoaa

mekanismin sitomisen jälkeiselle kiinteytymiselle ja pitokyvylle. /1/

Paperikoneen oloissa adhesiivina toimii yleensä kiertovesi, johon on liuennut puusta ja apukemikaaleista erilaisia aineksia. Tästä syystä kiertoveden ominaisuudet voivat vaihdella huomattavasti eri tehtaiden välillä.

Rainan adheesio riippuu nesteen ja pinnan välisestä kosketuskulmasta, nesteen pintajännityksestä sekä nestefilmin paksuudesta. Shallhorn ja Karnis /6/ ovat johtaneet adheesiovoimalle lausekkeen:

$$F_a = \frac{\gamma(1+\cos\theta)}{d_a} \quad (13)$$

, missä γ on nesteen pintajännitys
 θ on nesteen ja pinnan välinen kosketuskulma
 d_a on nestefilmin paksuus eli rainan ja pinnan välinen etäisyys.

Lausekkeesta voi havaita adheesiovoiman pienenevän nestefilmin paksuuden kasvaessa. Graniittitelan irtiottokokeissa on havaittu, että adheesiotyö kasvaa kuiva-ainepitoisuuden myötä n. 20 % kuiva-ainepitoisuuteen saakka ja kääntyy sitten laskuun /7/. Tämä saattaa johtua adhesiivin eli veden filminpaksuuden ohentumisesta 20 % kuiva-ainepitoisuuteen saakka, jonka jälkeen yhtenäinen vesifilmi katoaa.

1.3.3. Nukkaautuminen

Nukkaautuminen tarkoittaa kuitujen irtoamista kosteasta rainasta telan pintaan rainaa irrotettaessa. Ilmiön otaksutaan johtuvan tela-neste-kuitu-komposiitin suuremmasta adheesiovoimasta telan pintaan kuin mikä on kuidun koheesio lähellä oleviin rainan komponentteihin. Kemikaalit eivät ole aina tehokkaita nukkaantumisen vähentämisessä. Tämä osoittaa, että fysikaaliset voimat ovat kemiallisten voimien lisäksi merkittäviä nukkaantumisessa. /1, 6/

Paperikoneen puristinosalla vallitsevissa kuiva-ainepitoisuuksissa adheesio- ja koheesiovoimat ovat ensisijaisesti pintajännitysvaikutuksia /6/. Lausekkeessa (13) esitetty adheesiovoima voidaan esittää lausekkeen (14) muodossa, kun neste kastaa kuidut täydellisesti (eli kosketuskulma on 0°):

$$F_c = \frac{2\gamma}{d_c} \quad (14)$$

, missä d_c on keskimääräinen kuitujen välinen etäisyys.

Myös koheesiovoima johtuu pintajännitysilmiöstä, eli kuitujen välisestä kapillari-voimasta rainassa. Kapillaari muodostuu kuitujen välisestä vapaasta, vedellä täytetystä tilasta. /1/

Nukkautumisen perustekijöitä ovat /1, 6/:

- * rainan nestefaasin eli veden pintajännitys
- * nestefaasin ja pinnan välinen kosketuskulma (eli telan kastuvuus)
- * rainan pinnassa olevien kuitujen ja telan pinnan välinen etäisyys eli kosketuksen läheisyys
- * rainassa olevien kuitujen keskinäinen keskietäisyys.

Nukkautumiseen vaikuttavat mahdollisesti myös tela-raina-huopa rakenteen rajapintavyöhykkeiden viskoelastiset ominaisuudet ja rainan siirto/irrotusnopeus. Telan pintamateriaalilla ja heterogeenisyydellä voi olla huomattava vaikutus nukkautumiseen /6/. Asianmukaisella hionnalla voidaan vähentää nukkautumistaipumusta. Myös massakoostumus vaikuttaa nukkautumiseen.

1.3.4. Happo-emäsvuorovaikutukset

Happo-emäsvuorovaikutuksilla voi olla merkittävä vaikutus rajapinnassa esiintyviin adheesiovoimiin. Happo-emäsvuorovaikutuksiin saattaa sisältyä myös vetysidoksia. Pintamateriaaleilla saattaa olla kolmenlaisia happo-emäsominaisuuksia /1/:

1. Aineet toimivat elektroniakseptoreina tai protonidonoreina. Tällaisia ovat useat muovipinnat kuten PVC ja akryylihapon kopolymeerit, kvartsi ja eräät raudan oksidit.
2. Aineet toimivat elektronidonoreina tai protoniakseptoreina. Tähän ryhmään kuuluvat useat orgaaniset yhdisteet, polymeerit kuten PMMA, polystyreeni, EVA-kopolymeerit ja polykarbonaatit sekä epäorgaanisista materiaaleista kalsiumkarbonaatti ja amorfiset tai hydratoituneet alumiinin ja raudan oksidit.
3. Aineet ovat amfoteereja, eli toimivat sekä elektroniakseptoreina että elektronidonoreina. Tällaisia ovat mm. amidit, amiinit, polyamidit, PVA ja epäorgaanisista aineista kiteiset alumiinioksidipinnat.

Käytännössä ei vielä voida tai osata määrittää vuorovaikutusentalpioita, jotka esiintyvät adheesiotyön lausekkeissa. Paperikoneen märkäosan kemian luonteesta johtuen puristinosalla saattaa esiintyä useitakin happo-emäsreaktioita. /1/

1.4. Dynaaminen kastuminen

Materiaalien pintaominaisuuksia on tutkittu staattisissa oloissa, ja johtopäätöksiä on tehty saatujen tulosten perusteella. Käytännön paperinvalmistustilanteessa esim. märkäpuristuksessa kontaktiajat ovat millisekuntien luokkaa. Termodynaaminen tasapainotila ei ehdi asettumaan näin lyhyessä ajassa. Kosketuskulmia voidaan havaita lyhyissäkin ilmiöissä, mutta ne muuttuvat ajan funktiona. Kastuminen on tällöin dynaamista. /1/

Staattiset kosketuskulmat ovat seuraus rajapintaenergioiden tasapainosta. Dynaamiset kosketuskulmat määräytyvät työntävän rajapintavoiman ja viskoottisen jarruttavan voiman tasapainosta. Dynaamiset kosketuskulmat voivat olla kahta eri tyyppiä /1/:

1. Spontaanissa liikkeessä olevia kosketuskulmia, joissa nesteen reuna liikkuu spontaanisti rajapintavoiman vaikutuksesta.
2. Pakotetussa liikkeessä olevia kosketuskulmia, joissa liike tapahtuu ulkoisen voiman vaikutuksesta.

Pakotetussa liikkeessä olevat kosketuskulmat voidaan luokitella kolmeen erilaiseen ryhmään /1/:

1. Alhaisen nopeuden alueella dynaaminen kosketuskulma on riippumaton kolmifaasiviivan liikenopeudesta. Ryhmä on luonteeltaan lähellä spontaania prosessia.
2. Suuren nopeuden alueella etenevä kulma suurenee ja vetäytyvä pienenee nesteen liukuessa pinnalla. Kastuvuus ja adheesiotyö eivät ole dynaamisissa oloissa vakioita kyseisellä pinnalla, vaikka ne staattisissa oloissa olisivatkin. Jarruttava voima on bulkkifaasin viskositeetti.
3. Välinopeusalueella kosketuskulmat muuttuvat kohdan 2 mukaan, mutta jarruttava voima on rajapinta-alueen viskositeetti.

Kohtien 2 ja 3 tyyppiset dynaamiset ilmiöt voivat aiheuttaa paperikoneolosuhteissa muutoksia ja vaihtelua rainan irrotusta ohjaaviin voimiin ja irrotustyöhön. Nopeat dynaamiset ilmiöt vaikeuttavat adheesioon ja irrotukseen liittyviä tarkasteluja ja niistä tehtäviä johtopäätöksiä. Mittausmenetelmät saattavat parantua kuitenkin uusien mittalaitteiden myötä. /1/

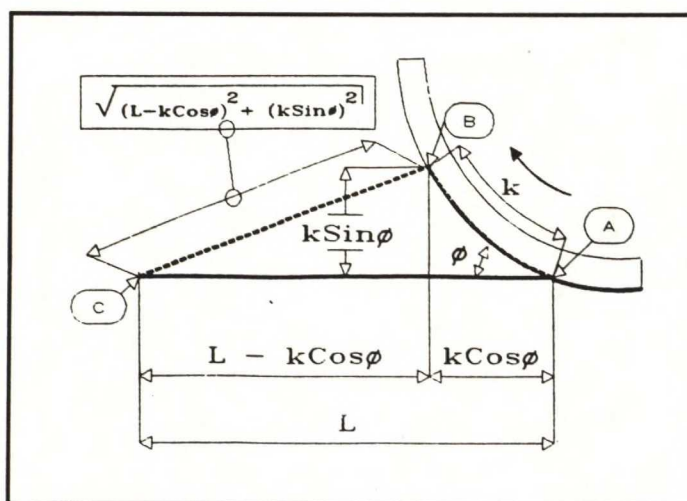
2. RAINAN IRROTUSTAPAHTUMA

Laboratoriossa suoritettavat irrotustyön tutkimukset sisältävät paljon virhetekijöitä verrattuna todelliseen dynaamiseen tilanteeseen paperikoneella. Tuloksien perusteella voidaan tehdä kuitenkin johtopäätöksiä irrotuksessa tapahtuvista ilmiöistä ja eri tekijöiden keskinäisistä vaikutuksista. Eri tekijöiden suuruusluokka ja keskinäinen järjestys saattaa olla kuitenkin erilainen dynaamisessa tilanteessa paperikoneella.

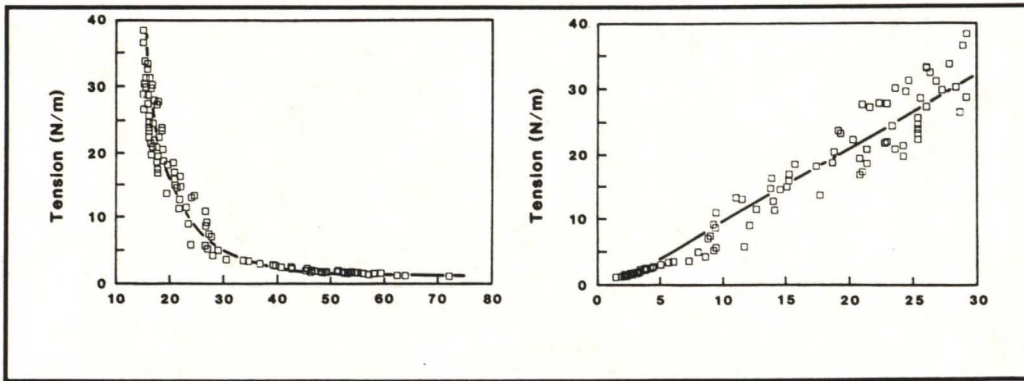
2.1. Prosessimuuttujien vaikutus irrotustyöhön

2.1.1. Irrotuskulma

Mardonin [3] mukaan irrotustyö kasvaa hieman irrotuskulman kasvaessa, kun kulma on yli 30° . Kun kulma on alle 30° , tulos riippuu laskennassa käytettävästä kaavasta. Kulman pienentyessä venymä kasvaa suureksi jännityksen kasvaessa. Myöhemmissä tutkimuksissaan [8] Mardon sai aiempaa tukevia tuloksia eri keskitelapintoja ja massoja käytettäessä. Muutos oli sitä voimakkaampi mitä karheampi pinta oli. Radvanin ja O'Blensin [9] tulokset ovat yhteneväisiä Mardonin tulosten kanssa.



Kuva 3. Rainan irrotus telalta. Kaksi vaihtoehtoista irrotuskulmaa: A ja B.



Kuva 4. Irrotusjännitys irrotuskulman Φ ja $1/(1-\cos\Phi)$ funktiona. Irrotusjännityksen $1/(1-\cos\Phi)$ funktiona muodostaman suoran kulmakerroin kuvaa irrotustyötä. /11/

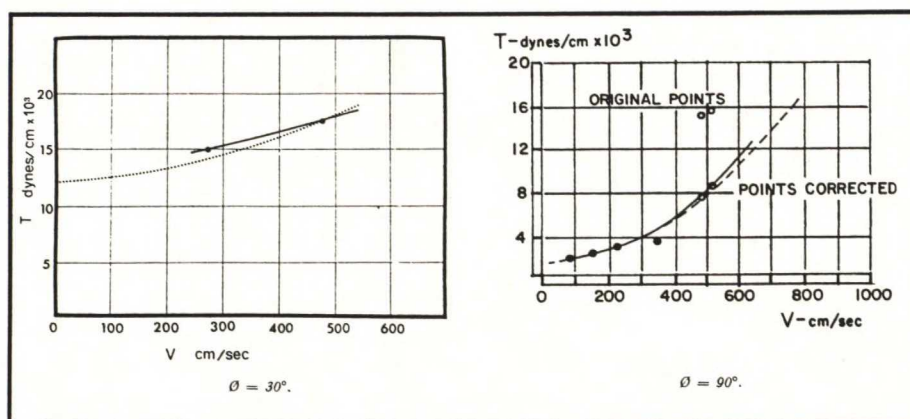
Irrotusjännitys pienenee irrotuskulman kasvaessa, erityisesti alle 40° kulmissa /3, 4, 5, 12/. Österberg /5/ havaitsi, että irrotusjännitys koostuu pienissä kulmissa pääosin vedon aiheuttamasta voimasta ja suurissa kulmissa momentista. Oliverin /12/ tulokset tukivat näitä päätelmiä.

2.1.2. Ajonopeus

Mardonin tutkimuksissa jännityksen kasvunopeus irrotusnopeuden funktiona oli hiukan suurempi kuin mitä voisi olettaa mv^2 -termistä laskettuna nopeuden muutoksen perusteella /3/. Kun testauksessa käytettiin eri keskitelamateriaaleja, jännitys kasvoi voimakkaasti nopeuden kasvaessa, mutta ei noudattanut teoreettisesti (mv^2) laskettua käyrää. Tietyn pisteen jälkeen jännitys ei enää kasvanut. Irrotusjännitys vaihteli eri tavoin nopeuden funktiona teräkselle ja graniitille. Tämä osoittaa erilaisten pintakemiallisten ilmiöiden merkityksen irrotuksen kannalta. Irrotustyö kasvoi hieman nopeuden kasvaessa. Myös muissa tutkimuksissa /5, 9/ on saatu Mardonian tukevia tuloksia. Ajonopeuden vaikutus on suurempi etenkin pienissä irrotuskulmissa.

Jännitys on korkeampi suuremmissa nopeuksissa johtuen osittain venytysnopeuden kasvusta /5, 13/. Tämän perusteella voi päätellä, että rainan viskoelastisilla ominaisuuksilla on huomattava vaikutus vetoeron aikaansaamaan jännitykseen ja

siten myös irrotukseen. Wahrenin /10/ tekemän teoreettisen tarkastelun perusteella pienin tarvittava irrotusjännitys kasvaa verrannollisena nopeuteen ja kääntäen verrannollisena irrotustyön neliöjuureen



Kuva 5. Nopeuden vaikutus jännitykseen eri irrotuskulmilla /3/.

Pikulik et al. /11/ tutkivat adheesiotyötä pilot-koneella käyttäen eri massoja ja telapintoja. Hioketta käytettäessä ja nippikuormien ollessa alhaisia nopeuden nosto lisäsi irrotustyötä. Suuremmissa nippikuormissa adheesiotyö ei muuttunut merkittävästi nopeuden vaikutuksesta. Eri massat ja nopeudet johtivat erilaisiin irrotustyön arvoihin, mutta selvää trendiä ei ollut havaittavissa. Tämä on osittain ristiriidassa aiempien tulosten kanssa. Ristiriitaisuudet osoittavat irrotustyön monimutkaisuuden ja monien tekijöiden mahdolliset ristikkäisvaikutukset. Kaikkien virhetekijöiden eliminointi on erittäin vaikeaa.

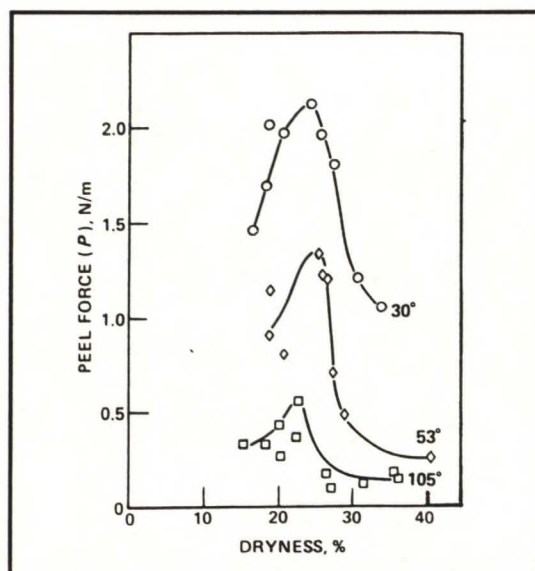
2.1.3. Kuiva-ainepitoisuus ja neliömassa

Mardonin /3/ mukaan jännitys kasvaa kuiva-ainepitoisuuden suurentuessa, vaikka neliömassan alenemisen voisi päätellä vaikuttavan alentavasti jännitykseen. Jännityksen kasvu johtuu irrotustyön kasvusta, kun kosteuspitoisuus laskee. Lisäksi jännityksen relaxoituminen on hitaampaa korkeammassa kuiva-ainepitoisuudessa. Alle 60 % kuiva-ainepitoisuudessa mekaanisten massojen dynaaminen kimmokerroin laskee melko loivasti kuiva-ainepitoisuuden pienentyessä, kun taas jauhetunkin sellun kimmokerroin pienenee jyrkästi vastaavassa muutoksessa /14/. Kokonaisneliömassan laskun voisi olettaa pienentävän jännitystä suuremmissa nopeuk-

sisä mv^2 -termin pienentyessä. Näin ei kuitenkaan käy, mikä johtuu ilmeisesti irrotustyöhön liittyvistä monimutkaisista ristikkäisvaikutuksista.

Mardonin myöhemmissä kokeissa /8/ alhainen kuiva-ainepitoisuus aiheutti alhaiset irrotusjännityksen arvot. Kuiva-ainepitoisuuden merkitys kasvoi irrotuskulman pienentyessä. Tutkimuksissaan /15/ Mardon havaitsi irrotustyön maksimin 66 % kuiva-ainepitoisuudessa. Radvan ja O'Blens /9/ eivät havainneet irrotusjännitykselle selvää riippuvuutta kuiva-ainepitoisuuden suhteen, mutta yli 40 % kuiva-ainepitoisuudessa adheesio väheni selvästi.

Oliver /12/ havaitsi tutkimuksissaan selvän irrotusjännityksen maksimin 22 – 26 % kuiva-ainepitoisuudessa riippumatta irrotuskulmasta. Graniittitelalla on havaittu lievempi maksimi noin 20 % kuiva-ainepitoisuudessa /2/. Oliverin mukaan adheesiotyö ja rainan ominaisuudet ovat kuiva-ainepitoisuuden funktio, ja molemmat vaikuttavat nettoirrotusvoimaan. Wahrenin /10/ mukaan rainan kriittisimmät ajettavuuteen vaikuttavat muuttujat ovat rainan jäykkyys, kuiva-ainepitoisuus sekä venymä. Jäykkyys ja venymä ovat neliömassan ja kuiva-ainepitoisuuden funktioita. Irrotusjännityksen huippu voi esiintyä, kun yhtenäinen vesifilmi on ohuimmillaan ennen filmin hajoamista yksittäisten kuitujen ja pinnan välille.



Kuva 6. Irrotusjännityksen riippuvuus kuiva-ainepitoisuudesta. /12/

McDonald et al. /13/ tutkivat laboratoriotesterillä ja pilot-koneella märän rainan jännitys-venymäkäyttäytymistä. Heidän tutkimuksessaan suurempi nippikuormitus nosti rainan kuiva-ainepitoisuutta. Rainan lujuus kasvoi tämän johdosta, jolloin myös rainan jännitys kasvoi suuremmaksi. Pye et al. /5/ eivät havainneet suuremman nippipaineen tai kuiva-ainepitoisuuden vaikuttavan selvästi jännitykseen. He otaksuivat korkeamman puristuspaineen lisäävän adheesiota telan pintaan, mutta kuivemman rainan pienentävän adheesiota. Nippipaine kohotti rainan murtumalujuutta kuiva-ainepitoisuuden kasvaessa.

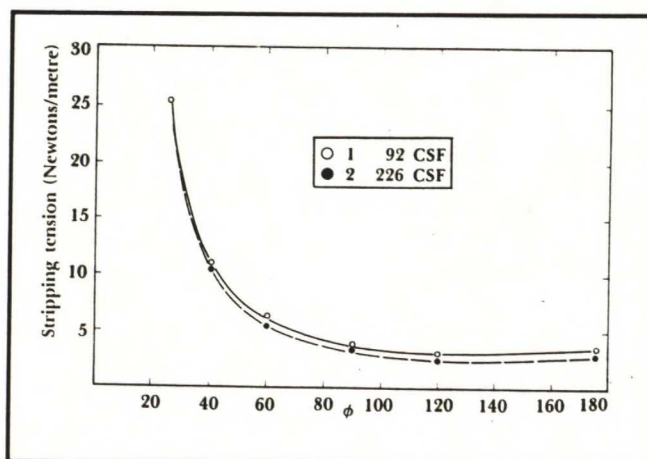
Shallhorn ja Karnis /6/ havaitsivat tutkimuksessaan korkeamman puristuspaineen lisäävän huomattavasti adheesiota samassa kuiva-ainepitoisuudessa. Ristiriitaisten tulosten perusteella voi päätellä, että puristuspaineen vaikutus riippuu koeoloista. Vaikutus voi kadota muiden muuttujien aiheuttamiin häiriöihin. Myös kuiva-ainepitoisuuden vaikutus näyttää riippuvan koeolosuhteista, joten kuiva-ainepitoisuuden merkitys saattaa vaihdella riippuen rainan ominaisuuksista ja irrotusolosuhteista.

Pye et al. /5/ mukaan irrotusjännitys laski neliömassan pienentyessä. Alhaisempi neliömassa pienensi kineettisen energian vaikutusta irrotusjännityksen lausekkeessa ja nosti nipin jälkeistä rainan kuiva-ainepitoisuutta. Neliömassan ei havaittu vaikuttavan irrotustyöhön. Syynä saattaa olla myös radan lujuuden pienentyminen neliömassan funktiona, jolloin venymä kasvaa suuremmaksi ja jännitys laskee.

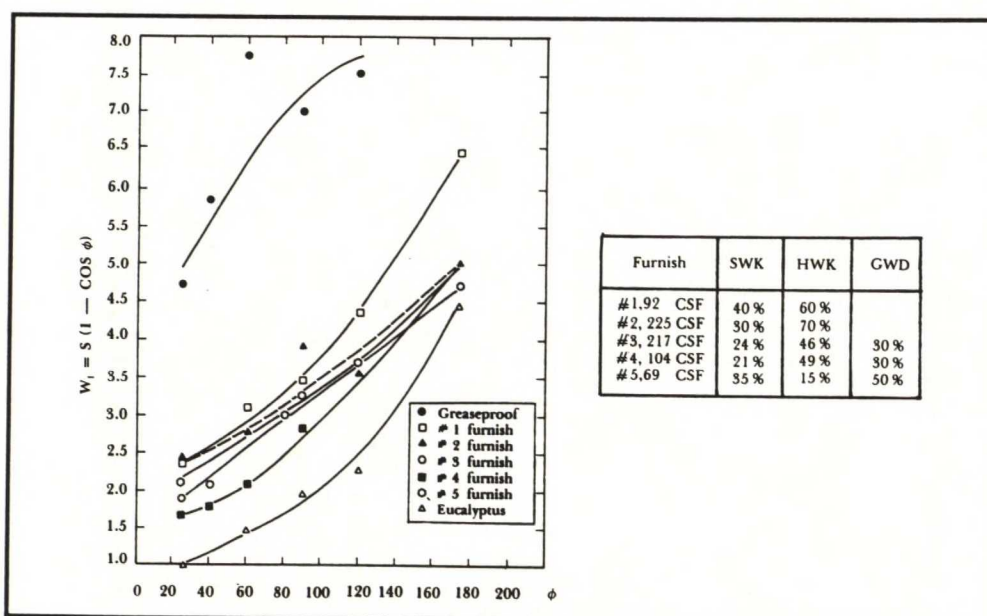
Nukkautumiseen vaikuttava koheesiovoima kasvaa kuiva-ainepitoisuuden noustessa ja kuitujen välisten etäisyyksien pienentyessä. Adheesiovoima pienenee jossain määrin kuiva-aineen lisääntyessä. Näinollen koheesion ja adheesion erotus kasvaa, jolloin nukkautuminen vähenee. Kokeiden perusteella nukkautuminen vähenee kuiva-ainepitoisuuden noustessa riippumatta koehetken massatyypistä tai jauhatusasteesta. /6/

2.1.4. Massalaji ja jauhatus

Mardon havaitsi tutkimuksessaan, että massalajilla on vaikutusta irrotusjännitykseen. Sen sijaan jauhatuksella eli freeneksen muutoksilla ei ole merkittävää vaikutusta. Korrelaatiot freeneksen kanssa johtunevat siitä, että tiettyjä massatyyppejä jauhetaan yleensä pitkälle. /8/



Kuva 7. Freeneksen vaikutus irrotusjännitykseen /8/.



Kuva 8. Irrotustyö ja -kulma erityyppisillä massoilla. Materiaali: karkea graniitti. Massat: SWK=havupuu sulfaattisellu, HWK=lehtipuu sulfaattisellu, GWD=hioke. /8/

Irrotustyön kasvu irrotuskulman funktiona oli pienempi Mardonin /8/ käyttämille hienopaperimassoille (joista osa sisälsi myös hioketta), kuin sanomalehtimassoille. Toisaalta valkaisematon sulfaattimassa antoi pienemmät irrotustyön arvot kuin Mardonin käyttämät valkaistut hienopaperimassat.

Massasta johtuu ilmeisesti myös se, että Kanadassa Kalliovuorten itäpuolella käytetään sanomalehtikoneilla runsaasti graniittiteloja ja länsipuolella synteettisiä teloja /11, 16/. Tämän uskotaan johtuvan maan itäisen osan massojen suuremmasta pihkapitoisuudesta, jolloin graniittiteloja käytettäessä ongelmat pystytään helpommin hallitsemaan.

Pikulik et al. /11/ tutkivat pihkan (kerätty koneelta tai TMP:stä) vaikutusta irrotustyöhön. He käsittelivät eri telojen pintoja pihkalla ja mittasivat irrotuskulman ja irrotusjännityksen. Irrotustyö kasvoi pihkan vaikutuksesta kumipohjaisilla teloilla ja graniittitelalla. Jos kerros oli liian paksu, kuituja tarttui kerroksen pintaan ja irrotustyö pieneni. Keraamisen ja Chromeslik®-telan adheesio pieneni pihkan vaikutuksesta. Molempien telojen pinnat oli käsitelty pienen pintaenergian omaavalla polyfluorokarbonilla (teflon). Telojen pinnat sitoivat ilmeisesti pihkan hydrofobisen osan, mikä vähensi irrotustyötä. Heidän kokeuksensa perusteella pitkäkuituisen massan adheesio on voimakkaampaa telan pintaan. Tämän perusteella kemiallisen massan adheesio on suurempi kuin mekaanisen massan adheesio.

Shallhornin ja Karniksen /6/ mukaan jauhatus lisää samassa kuiva-ainepitoisuudessa koheesiovoimaa. Tämä johtuu kuitujen fibrilloitumisen aiheuttamasta välimatkojen pientymisestä. Adheesiovoima kasvaa hieman jauhatuksen lisääntyessä, etenkin alhaisissa kuiva-ainepitoisuuksissa (30 %). Muutosten seurauksena nukkautuminen vähenee jauhatuksen funktiona. Hienopaperimassalla tehtyjen kokeiden perusteella lyhyt- ja pitkäkuituisen massan erillisjauhatus on nukkautumisen kannalta edullista. Etu katoaa kuitenkin täyteainetta käytettäessä.

Täyteaine ei vaikuta merkittävästi adheesioon, mutta koheesio pienenee täyteainemäärän kasvaessa /6/. Tämä perustuu siihen, että täyteainepartikkelit kasvattavat kuitujen välisiä etäisyyksiä. Täyteaineen läsnäollessa massan nukkautumistaipumus riippuu voimakkaasti jauhatuksesta, koska jauhatuksen lisääntyessä nukkaantuminen vähenee. Happaman prosessin nukkautumistaipumus on selvästi pienempi kuin neutraaliprosessin. Syynä saattaa olla uuteaineiden kertyminen telan pintaan, jolloin adheesio lisääntyy. Lisäksi happo-emäsvuorovaikutuksilla saattaa olla merkitystä happaman ja neutraaliprosessin eroissa.

Havupuumassan koheesiovoima on Shallhornin ja Karniksen /6/ mukaan suurempi kuin lehtipuumassalla. Lehti- ja havupuumassan adheesiovoima on lähes samansuuruinen samassa freneksessä. Koska nukkautuminen riippuu koheesion ja adheesion erotuksesta, on havupuumassan nukkautumistaipumus tämän perusteella pienempi. Toisaalta on myös kokemuksia /11/, joiden mukaan havupuumassan adheesio on suurempi. Eroavuuksien syynä saattaa olla massojen ominaisuudet tai koemenetelmän erot.

Hienopaperimassalle (lehti/havupuu) optimaalinen seossuhde oli 50/50, jolloin kuituverkosto oli tiiveimmin pakkautunut ja koheesiovoima oli maksimissaan. Tätä tuki myös se, että bulkki oli 10–20 % alhaisempi. Nukkaantuminen oli vähäisintä 50/50 suhteella ja kasvoi selvästi lehtipuumassan osuuden lisääntyessä 50:stä 100 %:iin. /6/

Jacob ja Berg /17/ ovat tutkineet uudella Wilhelmy-tekniikalla kuitujen kosketuskulmia diiodimetaanin kanssa eri pH:ssa. Kastumismuutokset riippuvat kuidun pinnan ionisoituvien funktionaalisten ryhmien dissosiaatiosta tai assosiaatiosta liuoksen kanssa. He käyttivät neljää eri massaa: a) puhdas alfa-selluloosa, b) valkaistu havupuusulfaatti, c) valkaistu lehtipuusulfaatti ja d) kemikuumahierre (CTMP). Menetelmän avulla voidaan määrittää karkeasti kuitutyypin happo-emäsvuorovaikutusominaisuudet. Kokeiden perusteella alfa-selluloosan pinnassa on enemmän emäksisiä ryhmiä, valkaistut sulfaattimassat sisältävät hieman enemmän happamia ryhmiä ja CTMP:llä pinnassa on pääosin happamia ryhmiä.

Happo-emäsominaisuuksien vaikutuksia ei kuitenkaan tunneta vielä riittävästi adheesion kannalta.

2.2. Telan pintaominaisuuksien vaikutus irrotustyöhön

Telan pintaominaisuuksien tulisi olla sellaiset, että raina pysyy kiinni telan pinnassa nipin jättöpuolella, jolloin huovan aiheuttama jälleenkastuminen on mahdollisimman vähäistä. Toisaalta telan irrotusominaisuuksien tulisi olla sellaiset, jotta raina voidaan irroittaa tasaisesti ja ilman vaurioita.

Graniitin hyvien adheesio- ja irrotusominaisuuksien uskotaan johtuvat seuraavista seikoista /18, 19/:

- * Graniitin korkean pintaenergian johdosta vesi sitoutuu hyvin graniitin pintaan. Vesifilmin paksuus vaihtelee pinnan epätasaisuuksien mukaan, jolloin myös adheesiovoima vaihtelee eri kohdissa. Paksummissa kohdissa irrotustyö on pienempi, mikä aikaansaa hyvät irrotusominaisuudet koko telan kannalta.
- * Graniitissa olevat teräväreunaiset lohjenneet kiteiset "kolot" voivat kerätä vesikuplia, suspendoituneita partikkeleita jne. korkeamman pintaenergiansa ansiosta. Tällaiset partikkelit voivat aiheuttaa vesifilmissä koheesiovoimia, jolloin irrotustyö pienenee.
- * Graniitin muodostavat mineraalit ovat vesiaffiniteetin suhteen erilaisia. Maasälpä on hydrofiilinen, kvartsi elektrokemiallisesti neutraali ja kiille on hydrofobinen. Tästä johtuen vesifilmin ja telan pinnan välinen adheesiovoima vaihtelee, mikä helpottaa irrotustyötä.
- * Telan pinnan dynaaminen moduli on korkea (kovuus helpottaa irrotusta).

2.2.1. Tartuntakerros

Adheesion ja irrotustyön kannalta adhesiivikerroksen ominaisuudet ovat ratkaisevassa asemassa. Adheesiovoima riippuu pintojen geometriasta, nesteen pintajännityksestä, sidoksen muodostavan nesteen määrästä, nesteen kosketuskulmasta kummankin pinnan kanssa, sekä pintojen välisestä etäisyydestä.

Hitaassa irrotuksessa ja alhaisilla nesteen viskositeettitasoilla pintajännitysvoimat ovat ratkaisevassa asemassa. Hiukan suuremmassa nopeudessa viskoottinen vaikutus on todennäköisesti vallitseva. Nykyisillä paperikoneilla nopeudet ovat erittäin suuria, jolloin irrotusvoima saavuttaa nesteen vetolujuuden. Vesi halkeaa todennäköisesti jo ennen sen vetolujuutta, etenkin jos pinnat ovat karheita ja huokoisia. /12/

Paperikoneen olosuhteissa tilannetta vaikeuttavat veteen liuenneet kemikaalit ja orgaaniset kuidusta peräisin olevat komponentit. Ne voivat muuttaa veden pintajännitystä ja kosketuskulmia, jolloin kiertovesi voi erota huomattavasti puhtaasta vedestä. /12/

Shallhorn ja Karnis /6/ havaitsivat tislattuun veteen lisättyjen lisäaineiden kasvattavan nukkautumistaipumusta. Alunan ja pihkan hartsi eivät vaikuttaneet koheesioon, koska pintajännitys ei muuttunut. Lisäys nosti adheesiota, koska kosketuskulma pieneni. Tästä johtuen nukkaantumistaipumus lisääntyi. Kalسيومstearaatti pienensi koheesiota laskemalla pintajännitystä ja adheesio vastavasti kasvoi kosketuskulman pienetyessä. Tällöin nukkautumistaipumus kasvoi huomattavasti. On mahdollista, että nukkautumisen kannalta olennaista ovat kuitenkin kosketuskulman muutokset, eivätkä varsinaiset kosketuskulman arvot (mm. karheuden vaikutus ja dynaamiset ilmiöt). Tulosten perusteella voi päätellä, että pinta-aktiivisilla aineilla voi olla huomattava vaikutus rainan irrotukseen ja nukkaantumiseen.

Irrotusvoima välittyy adhesiivikerroksen hajotessa taivutusmomentin, vedon aiheuttaman voiman ja leikkausvoimien avulla. Eri voimien jakautuminen riippuu nipin geometriasta ja systeemin ominaisuuksista. /12/

Oliver /12/ havaitsi irrotusalueen kuvauksella, että alle 20 % kuiva-ainepitoisuudessa kuitujen ja graniittitelan pinnan välillä on yhtenäinen vesifilmi. Korkeamassa kuiva-ainepitoisuudessa vesi muodosti sidossiltoja yksittäisten kuitujen ja telan pinnan välille. Hän havaitsi myös muita kuidun irrotukseen liittyviä ilmiöitä. Näitä olivat a) heikosti sitoutuneiden kuitujen liukumia vesisidosten välittämän voiman avulla, b) hetkellistä kuitujen tarttumista graniittiin (Kuidut kuitenkin irtosivat ja jäivät heikommin sitoutuneina rainaan.) ja c) kuitujen tarttumista graniittiin, jolloin koheesiovoimat olivat adheesiovoimia pienempiä.

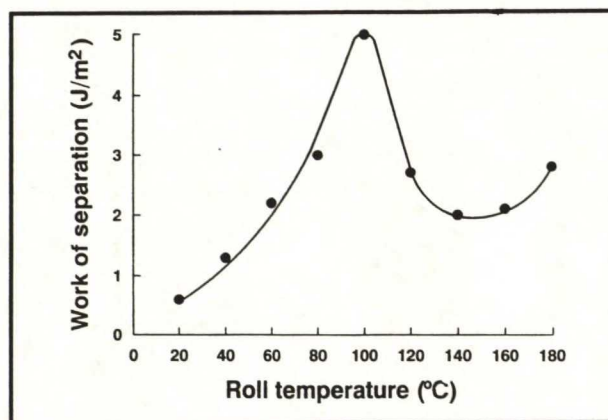
2.2.2. Lämpötila

Höyrylaatikon käyttö lisäsi Pye et al. /5/ tutkimuksessa kuiva-ainepitoisuutta noin 5 %. Jännitys/irrotuskulma-käyrän muoto ei muuttunut. Rainan jännitys oli korkeammassa lämpötilassa alhaisempi, mutta irrotustyö ei muuttunut merkittävästi. Jännityksen aleneminen johtui Pyen mukaan todennäköisesti kuiva-ainepitoisuuden noususta. Johtopäätös saattaa olla virheellinen, koska muiden tutkimusten mukaan vaikutuksen pitäisi olla päinvastainen.

Telan pintalämpötilan noustessa oleofiilisten materiaalien viskositeetti laskee. Pihkan kertyminen saavuttaa kokemuksen perusteella maksimin tietyssä viskositeetissa kriittisessä lämpötilassa. Joidenkin koetulosten perusteella on havaittu tietyssä kuiva-ainepitoisuudessa irrotustyölle maksimi lämpötilan noustessa. Irrotustyön muutoksen lämpötilan funktiona on esitetty johtuvan rainan tarttumisen muutoksina telan pintaan. Toisaalta Pye et al /5/ eivät havainneet lähes 50°C lämpötilannousun vaikuttavan merkittävästi irrotustyöhön. /11/

Pikulik et al. /11/ havaitsivat kromipintaisella telalla adheesiotyön maksimin olevan n. 100°C. Adheesiotyö pieneni lämpötilan noustessa edelleen 140°C:een ja

nousi taas hieman 180°:ssa. Tulosten perusteella suurin adheesio on kriittisessä pihkan viskositeetissa, joka tässä kokeessa oli 100°C. Ristiriitaisuuksien voi olettaa johtuvan käytettyjen massojen eroista esim. pihkapitoisuuden suhteen.



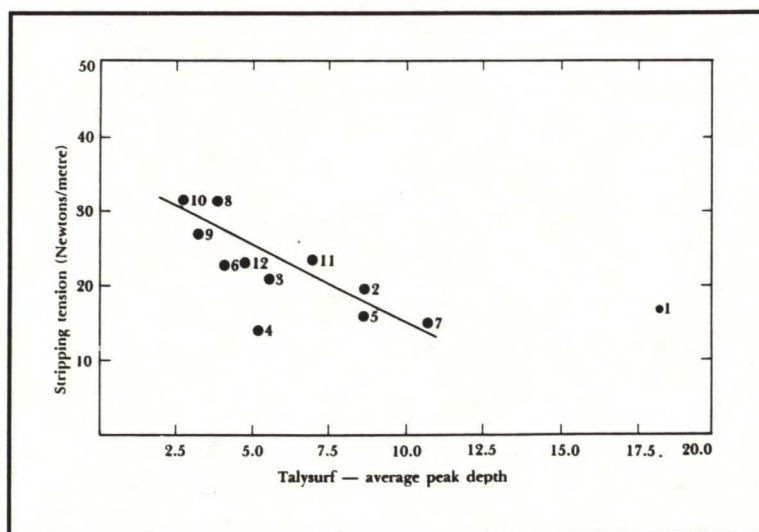
Kuva 9. Irrotustyö lämpötilan funktiona kromipäällystetylle telalle /11/.

Massan eli radan lämpötila vaikuttaa merkittävästi radan lujuusominaisuuksiin puristinosan kuiva-ainepitoisuuksissa. Backin ja Anderssonin tutkimusten /20/ mukaan radan lämpötilan nousu asteella laskee radan lujuutta keskimäärin prosentilla. Tämän johdosta esimerkiksi höyrylaatikolla aikaansaadun kuiva-aineen nousun ja adheesio- vähenemisen täytyy olla vaikutukseltaan merkittävämpi kuin radan lujuuden laskun aiheuttama radan heikkeneminen, jotta koneen ajettavuus paranee. Tästä voidaan päätellä, että höyrylaatikon vaikutus radan irrotukseen riippuu radan koostumuksesta sekä vallitsevista olosuhteista irrotuskohdassa; esimerkiksi kosteuden suhteellisesta merkityksestä irrotustyöhön. Märän rainan lämpötilan nosto heikentää dynaamista jäykkyyttä erityisesti mekaanisilla massoilla /14/.

2.2.3. Karheus

Mardon /8/ havaitsi tutkimuksessaan eri telapinnoitteilla, että irrotusjännitys on voimakkaasti riippuvainen pinnan karheudesta: irrotustyö pieneni pinnankarheuden kasvaessa. Karhealla pinnalla irrotustyö kasvoi irrotuskulman suurentuessa kuitenkin nopeammin kuin sileällä pinnalla. Myös Radvan ja O'Blens /9/ saivat

samankaltaisia tuloksia. Jos irrotustyötä halutaan käytännössä vähentää, telan pinta hiotaan usein karheammaksi /11/.



Kuva 10. Irrotusjännitys pinnankarheuden funktiona /8/.

Oliver /12/ havaitsi karheuden lisäävän adheesiotyötä. Rainan pinnan mikroskooppitarkastelu osoitti, että raina oli mukautunut telan pinnan epätasaisuuksiin. Tällöin todellinen adheesiopinta on suurempi verrattuna sileään pintaan. Karheuden vaikutus irrotustyöhön riippuu siitä, mukautuuko raina pinnan epätasaisuuksiin vai ei. Karheuden vaikutus riippuu myös pinnan karheuden aiheuttavan epätasaisuuden muodosta ja suuruudesta. Taipuisampana massana hienopaperimassan voi olettaa mukautuvan helpommin pinnan epätasaisuuksiin, ja olevan siten herkempi karheuden muutoksille irrotuksen suhteen.

Myös Shallhorn ja Karnis /6/ havaitsivat mikrokarakheuden lisäävän adheesiotyötä, koska raina mukautui pinnan epätasaisuuksiin. He havaitsivat vaikutuksen vähenevän kuiva-aineen lisääntyessä. He kokeilivat pinnankarheuden vaikutusta myös säätämällä karheutta hallitusti. Tuloksien perusteella karheus voi sekä lisätä että vähentää adheesiota, riippuen karheuden muodosta ja suuruusluokasta. Puristinosan nukkautumis- ja irrotusongelmia voidaan Shallhornin ja Karniksen mukaan hallita tietyissä rajoissa karheutta säätämällä. Oikeanlaisen hionnan avulla karheus voidaan säätää kullekin massatyypille ilman, että puristinosan toiminta muuttuu haitalliseen suuntaan.

2.2.4. Kastuvuus

Suguri et al. /21/ tutkivat graniitin korvaamista polyuretaanipohjaisella komposiittipinnoitteella. He kehittivät teorian, jonka mukaan adheesio ja erilaisten materiaalien kerääntyminen on riippuvainen pinnan elektrokemiallisesta luonteesta. Sen perusteella märkä raina irtoaa oleofiilisestä pinnasta hyvin, koska veden kosketuskulma on pinnan kanssa suuri. Vastaavasti oleofiilisten materiaalien, kuten pihkan tarttuminen hydrofiiliseen pintaan on vähäistä.

Teoriaan pohjautuen he päättelivät, että massatyypistä riippuen telan pinnan hydrofiilisyyshydrofobisuus voidaan säätää optimaaliseksi kullekin paperilajille. Tämän perusteella hienopaperimassoille tulisi olla oleofiilinen pinta, koska pihkapitoisuus on alhainen. Samanaikaisesti irrotustyö on alhainen. Vastaavasti puupitoisille massoille tulisi olla osittain hydrofiilinen pinta, jotta pihkan kerääntyminen minimoituisi. Tehdaskokeiden perusteella saadut tulokset tukivat melko hyvin teorian oletuksia. /21/

Sulfiittimassalla tehdyillä kokeilla /11/ on havaittu, että pihkan tarttuminen on voimakasta hydrofobisille pinnoille ja vähäistä hydrofiilisille pinnoille. Graniitti on pääosin hydrofiilinen, joten graniitin toimivuus Kanadan itärannikolla saattaa perustua tähän. Graniitin korkea adheesiotyö johtuu todennäköisesti sileästä pinnasta ja veden pienestä kosketuskulmasta graniitin kanssa, jolloin kastuvuus on hyvä /6/.

Pinnan kastuvuudella ja oleofiilisyydellä on huomattava vaikutus puristintelan toimintaan eri olosuhteissa. Tätä voidaan käyttää hyväksi telapinnoitetta suunniteltaessa eri paperilajeille. Materiaalien ominaisuudet asettavat luonnollisesti jonkinasteisia rajoituksia pintaominaisuuksien optimoinnille.

2.2.5. Yhteenveto

Rainan tartuntaan ja irtiottoon liittyvät kemialliset ja fysikaaliset tekijät on tiivistetty taulukkoon 1.

Taulukko 1. Rainan puristintelatartuntaan ja irtiottoon vaikuttavat tekijät /12/.

Irtiottopahtuman "osapuolet"	Vaikuttavat tekijät	
	Fysikaaliset	Kemialliset
Tartuntakerros rainan ja telamateriaalin välissä	Viskositeetti, pintajännitys, kerrospaksuus, kerroksen yhtenäisyys, rainan ja puristintelan pinnan keskinäinen loitonutumisnopeus	Rainan massakoostumus, kiertoveden sisältämät aineet (liuenneet/liukenemattomat; orgaaninen/epäorgaaninen)
Telamateriaali	Pinnan karheus, pinnan kastuvuus, pinnan elastiset ominaisuudet	Kemiallinen koostumus ja luonne (hydrofobinen/ hydrofiilinen) rajakerroksen "liikaantuneisuus"
Raina	Koheesiolujuus, jäykkyys, kimmo-ominaisuudet, karheus, neliömassa (keskimääräinen/formaatio), tiheys, kuituorientaatio, kuitupituusjakauma (tikut), pintakosketuksen täydellisyys mikroskooppisessa mittakaavassa	Kemiallinen koostumus (pinta/rainan keskiosat), rainan vesifaasin mukana liikkuvien yhdisteiden laatu ja määrä, hydrofiilisyy
Puristusolosuhteet	Puristuspaine (jakautuminen ja vaikutusaika), kontaktiala (raina/telamateriaali ja raina/huopa), lämpötila, irtioton luonne (avoin/suljettu, kaarevuus), nopeus, keskipakovoima, aerodynaamiset häiriöt, vedon tasaisuus	Rainasta puristuvan veden määrä ja luonne (kemialliset yhdisteet, ilma), huopien likaantuneisuus ja keskimääräinen pintanenergia

2.3. Rainan irrotuksessa alkava repeämä

Ratakatko alkaa usein siten, että jokin rainan alue on erittäin lujasti kiinni telan pinnassa. Rainaa irrotettaessa alue pysyy telan pinnassa, jolloin repeämä lähtee etenemään rainassa. Repeämä saattaa alkaa myös rainan reunasta, ja edetä kohti toista reunaa. Repeämä etenee tasaisella nopeudella koko rainassa, jolloin lopulta koko raina on tarttunut telan pintaan. Pienen alueen voimakas adheesio ei kuitenkaan aina aiheuta katkoa, vaan rainaan voi tulla myös reikiä. /9/

Radvan ja O'Blenes /9/ tutkivat repeämän etenemistä määrässä rainassa laboratoriossa sekä koneella käyttäen apuna kameraa. He tutkivat myös tahmean täplän vaikutusta repeämän alkamiseen. Tutkimusten perusteella he havaitsivat, että pienet irrotuskulmat aiheuttivat useammin reiän tai katkon, kun taas suuret irrotuskulmat (yli 90°) johtivat kuitukerroksen irtoamiseen.

Tulokset olivat samankaltaisia myös koneella, mutta tahmea täplä saattoi siirtyä telan pinnasta myös rainaan ilman repeämää tai nukkautumista. Ilmiö esiintyi erityisesti pienissä irrotuskulmissa ja korkeissa nippikuormissa. Repeämä eteni yleensä suoraviivaisesti, kun irrotuskulma oli alle 90° . Irrotuskulman ollessa yli 90° repeämän eteneminen saattoi pysähtyä, jolloin tuloksena oli vain reikä. /9/

Ratakatko saattaa alkaa myös paperin erilaisista vioista, kuten tikuista ja heikommista kohdista. Heikompien kohtien ympärille kehittyy jännitysmaksimeja, jotka voivat ylittää paperin lujuuden. Tällöin repeämä alkaa etenemään radassa. Tämän johdosta paperin venymäkyvyllä ja jännityksen relaxoitumisnopeudella on huomattava vaikutus radan kykyyn sietää vikoja ilman ratakatkoa

2.4. Radan stabiilisuus avoimessa viennissä

Kappaleissa 2.1. ja 2.2. käsiteltiin irrotukseen vaikuttavia muuttujia. Rainan irrotusjännityksen kannalta merkittäviä ovat nopeus ja irrotustyö. Ajettavuuden kannalta merkittäviä ovat jäykkyys, kuiva-ainepitoisuus ja venymä.

Avoimen viennin pituus on ratkaiseva tekijä rainan stabiilisuuden ja venymän kannalta. Avoimen viennin pituutta voidaan vähentää ylimääräisillä johtoteloilla tai vastaavilla. Nämä stabiloivat rainan kulkua ainakin periaatteessa, jos raina on riittävässä kontaktissa telan kanssa. /10/

Rainan stabiilisuutta säädetään yleensä vetoeron avulla. Vetoero eli venymä on periaatteessa riippumaton muuttuja, jota voidaan säätää halutun suuruisiksi.

Rainan jännitys riippuu vetoerosta sekä rainan jännitys-venymäkäyttäytymisestä. Ilman virtaukset ym. voivat aiheuttaa rainaan rasituksia. Jos venytys on liian suuri, raina katkeaa. Myös liian pieni vetoero aiheuttaa rainan katkeamisen. /10/

Rainan jännitys voidaan jakaa kahteen osaan: dynaamiseen tekijään, sekä muihin tekijöihin, kuten adheesion aiheuttamaan jännitykseen. Rainan irtoamispisteen muuttumiseen voivat vaikuttaa adheesion muutokset, neliömassan muutokset ja rainan ominaisuudet. /10/

Jos vetoero muuttuu liian nopealla taajuudella, kestää jonkin aikaa ennen kuin raina venyy. Tällaiset muutokset voivat aiheuttaa "aaltoja" eli rainan lepatusta avoimessa välissä, koska korjaavat voimat eivät välity riittävän nopeasti seuraavasta ryhmästä. Lepatuksen hallinta riippuu voimakkaasti avoimen välin pituudesta, joka tulisi minimoida mahdollisimman lyhyeksi. Hallittavien häiriöiden pituus riippuu avoimen välin pituudesta. Alhaisessa nopeudessa dynaamisen termin osuus on pieni, jolloin lyhyttaajuuksiset häiriöt voidaan eliminoida helposti. Suurissa nopeuksissa häiriöiden taajuus täytyy olla rajattu, tai niiden fysikaalinen koko täytyy olla riittävän suuri. /10/

Wahrenin /10/ mukaan lepatuksen saaminen hallintaan vaatii vain erittäin pienen jännityksen lisäämisen. Korkeissa nopeuksissa häiriöiden täytyy olla hitaita, jotta ne voidaan hallita. Nopeuden aiheuttama dynaaminen termi on paljon suurempi kuin adheesion aiheuttama jännitys. Mitä suurempi on nopeus sitä suurempi jännitys tarvitaan häiriöiden hallitsemiseksi.

3. GRANIITTI JA KORVAAVAT TELAMATERIAALIT

Graniittia on käytetty telamateriaalina yli 100 vuotta johtuen sen hyvistä irrotusominaisuuksista, kulutuksenkestosta ja kaavaroitavuudesta. Graniitin hyvät ominaisuudet perustuvat sen kovuuteen, huokoisuuteen ja hydrofiiliseen luonteeseen. Luonnonmateriaalina graniitti on myös heterogeenistä, mikä haittaa graniitin käyttöä telamateriaalina. Heterogeenisyydestä johtuen graniitin ominaisuudet vaihtelevat yksittäisessä telassa eri suunnissa. Lisäksi graniitin vetolujuus on alhainen. Alhaisesta vetolujuudesta johtuen graniitti on altis lämpövaihteluille, jolloin lämpölaajeneminen aiheuttaa helposti murtumia tai jopa täydellisen hajoamisen graniitin vetolujuuden ylittyessä. /16, 18, 22, 23/

Koska graniitti on ominaisuuksiensa suhteen äärirajoilla, uusia pinnoitteita on kehitetty korvaamaan graniittia. Erilaisia komposiittiteloja on käytetty yleisesti graniitin korvaajina. Teloissa on yhdistetty eri sideaineilla hiekka- ja keraamipartikkeleita valitussa suhteessa, jotta toivotut ominaisuudet saavutetaan. Lupaavimpia ovat kuitenkin viime vuosina markkinoille tulleet keraamiset pinnoitteet, joiden kulutuksenkesto ja kovuus sekä irrotusominaisuudet ovat olleet hyviä. Valmistajat eivät halua paljastaa tarkkaa koostumusta, joten kovin yksityiskohtaista tarkastelua eri telatyypin välillä ei voi suorittaa.

3.1. Graniitti

Graniitti koostuu kiteisestä laavasta, kvartsista, maasälvästä ja kiilteestä. Mikro- skooppikuvien ja röntgenfluoresenssin perusteella Haidenthaler et al. /18/ ovat päättelleet graniitin muodostuvan kolmesta erityyppisestä alueesta: a) kvartsin muodostamista sileistä alueista, b) maasälvän ja kiilteen karheista alueista ja c) kiteisen materiaalin irtoamisen aiheuttamista teräväreunaisista alueista. Eri mineraalit ovat sijoittuneet satunnaiseen järjestykseen graniitissa, mikä osaltaan vaikuttaa graniitin lujuuteen. Erityisesti lämpövaihtelut saattavat aiheuttaa murtumia heikommissa kiteisissä alueissa telan sisällä.

Graniittia louhitaan nykyään kahdessa paikassa: Suomen Kurussa ja USA:n Vermontissa. Graniittitela muodostuu yhdestä kivistä, joka on louhittu huolellisesti tutkitusta materiaalista. Tästä huolimatta graniitin sisäosiin saattaa jäädä heikompia alueita. Heterogeenisyys ja epätasainen lämpölaajeneminen altistaa graniitin värähtelyille. /16/

Graniitin puristuslujuus on korkea, n. 179 MPa, mutta sen vetolujuus on vain n. 12,4 MPa. Heikon vetolujuuden kompensoimiseksi graniitti kootaan jännityksen alaiseksi akselin avulla. Tällöin graniittiin on tehty lieriömäinen reikä. Sisälle sijoitetaan teräs-akseli, jonka avulla siihen kiinnitetyt päätyvaipat asettavat graniitin puristusjännityksen alaiseksi. Akselin ja graniitin välinen tila on täytetty joko betonilla, polymeerivaahdolla tai jättää ontoksi. /16, 22, 24/

Betonin ja raudan lähes kaksinkertainen lämpölaajenemiskerroin verrattuna graniittiin aiheuttaa halkeamisriskin, jossa vaippa voi haljeta pituussuunnassa täydellisesti. Keskipakovoima voi pahimmassa tapauksessa aiheuttaa telan täydellisen hajoamisen. Tämänkaltaisen onnettomuus aiheutti v. 1987 Ruotsissa yhden kuolonuhrin ja huomattavia aineellisia vahinkoja. /16, 22, 24/

Polyuretaanitäyte on joustavaa, jolloin teräsytimen lämpölaajeneminen ei aiheuta lämpöjännityksiä graniittiin. Tästä syystä polyuretaanitäyte tai ontoksi jättäminen vähentävät lämpölaajenemisen aiheuttamaa vaurioriskiä huomattavasti.

Graniitin vetolujuus saattaa heikentyä ajan myöten. Vetolujuus voi heikentyä 10 vuoden aikana jopa 50 %. Tämä lisää vaurioriskiä telan iän lisääntyessä. Myös adsorboitunut vesi saattaa heikentää graniittia. /22, 25/

Graniittitela voidaan valmistaa myös poraamalla pitkittäisiä reikiä ympäri kehää. Reikiin sijoitetaan vetotangot, joilla päätylaipat kiinnitetään toisiinsa ja graniitti saadaan puristusjännityksen alaiseksi. /16/

Pikulikin /16/ mukaan pääosa tapahtuneista vaurioista oli betonitäytteisissä teloissa. Myös täyttämättömissä tai polymeeritäytteisissä teloissa vaurio on mahdollinen, etenkin telan päädyissä. Päätylaippa on joskus osittain upotettu, jolloin lämpölaajeneminen voi rasittaa telan päitä. Murtumia voi tapahtua myös pelkän kitkan vaikutuksesta, vaikka vaippaa ei ole upotettu graniittiin /22/.

Betonitäytteisten graniittitelojen korkein suosituskäyttölämpötila on 40 – 45° C ja polymeeritäytteisillä teloilla 65°C /22/. Myös jäähtytyksestä ja lämmityksestä on rajoituksia. Rajoitusten johdosta höyrylaatikoita ei voida käyttää täysimääräisesti hyväksi.

Monet paperikoneen normaalit toiminnot voivat aiheuttaa suuria lämmönvaihte-luita. Käynnistystilanteessa höyrylämmitteinen viiravesi voi aiheuttaa nopean läm-mönnousun. Katkotilanteessa suora kontakti huopaan voi aiheuttaa voimakkaan jäähtymisen. Jäähtyminen johtuu kylmistä huovanpesuvesistä, joiden vaikutus lisääntyy imulaatikon ansiosta. Huovasta ja kaavarin voitelusuihkuista telan pintaan siirtynyt haihtuva vesi lisää jäähtymistä voimakkaasti /22/. Myös telan huuhtelu/voiteluvesi voi olla kylmää verrattuna käyntilämpötilassa olevaan graniittitelaan. /16/

3.2. Komposiittipinnoitteet

3.2.1. Kumipohjaiset päällysteet

Kumipohjaiset telat ovat olleet markkinoilla jo pitkään. Vanhimpia on Stonite (Stowe Woodward, 1933) ja siitä kehitelty Microrok (1947). Microrok on luon-nonkumipohjainen eboniittityyppinen telapinnoite /25/. Molemmat sisältävät gra-niitin mineraaleja. Sideaineena käytettävät kumit ovat kovia. Pinnoitteiden lämpötilankesto on huono (n. 70°C) ja ne saattavat pehmentyä esim. pihkan vaikutuksesta, jolloin kaavarin aiheuttama kuluminen lisääntyy. Polymeeripin-noitteet ovat yleensä 10–20 mm paksuja. Polymeeripinnoitteiden tyypillinen piirre

on huokoisuuden puuttuminen (Graniitin huokoisuus on 0,2–1,5 % /18, 32/), mikä heikentää vesiretentiota telan pintaan /23/.

Kehittyneempi versio Dynarok esiteltiin 1985. Pinnoite on nitrilikumipohjainen, ja sen lämpötilankesto on 105°C. Täällä pinnoitteella on saatu joissakin kohteissa hyvät irrotusominaisuudet. Pinnoite mahdollistaa myös höyrylaatikon käytön. Lisäksi värähtelytongelmat ovat selvästi pienempiä kuin graniitilla /24/.

Dynarokin käyttökokemusten perusteella hiontarve on pienempi kuin graniitilla. Suhteellisen pehmeänä pinnoitteena se on kuitenkin herkkä kaavaroinnille ja vaurioille. Tästä syystä kumipohjaiset pinnoitteet eivät täytä korkeimpia vaatimuksia graniitin korvaavaksi pinnoitteeksi. /24/

3.2.2. Polyuretaani- ja epoksitäytteiset pinnoitteet

Polyuretaanipinnoitteet ovat valettavia eetteri- ja esteripohjaisia komposiitteja. Pinnoitteissa voidaan käyttää suurempaa mineraalimäärää verrattuna kumitäytteisiin komposiitteihin. Polyuretaani on oleofiilinen, mutta sisältää myös hydrofiilisiä komponentteja. Markkinoilla olevassa Uni-Rockissa on täytteenä kvartsia ja/tai maasälpää. Pinnoitteita on tarjolla kuutta eri tyyppiä. Mineraalien määrää ja tyyppiä säätelemällä pinnoitteen ominaisuudet voidaan optimoida kyseiselle paperilaadulle. Polyuretaani voi olla altis hydrolyysille höyrylaatikkoa käytettäessä, jolloin hiontarve lisääntyy /24/. Polyuretaanipinnoitteiden lämmön- ja kulutuksenkesto-ominaisuudet eivät myöskään täytä korkeimpia vaatimuksia graniitin korvaavaksi materiaaliksi.

Kovalla synteettisellä epoksihartsilla päällystetty Top-Rock esiteltiin v. 1987. Täytteenä käytetään epäorgaanisia partikkeleita. Elektrokemiallisesti neutraalin muovihartsimatriisin seassa on joko hydrofiilisiä, hydrofobisia tai neutraaleja täytepartikkeleita. Eri partikkeleita yhdistelemällä voidaan päästä lähelle graniitin ominaisuuksia. Graniitin eri mineraaleja käytetään yleisesti partikkeleina /25/. Lämmönkesto, homogeenisuus ja pinnansileys ovat parempia kuin graniitilla,

mutta ominaisuudet ovat kompromissi, johon vaikuttaa mm. partikkelikoko. /18/

Partikkelikoolla voidaan säädellä pinnan karheutta halutun suuruiseksi. Top Rockin pintaenergia on hieman alhaisempi kuin graniitilla. Pinnoite on myös luonteeltaan hydrofiilinen, ja sen poolisuuskomponentti on suuri, kuitenkin pienempi kuin graniitilla. Suuresta poolisuudesta johtuen vuorovaikutus on voimakasta veden kanssa, jolloin oleofiilisten (häiritsevien) materiaalien tarttuvuus vähenee. /18/

Vuonna 1989 ja 1991 Stowe Woodward esitteli Centerok:in ja Centerok91:n. Pinnoitteet ovat kuumakovetettuja synteettisiä polymeerejä, joiden maksimilämpötila on 120°C. Myös kulutuksenkesto on parempi kuin aiemmissa pinnoitteissa (Dynarok). Centerok'ia suositellaan erityisesti puukuitu- ja siistausmassapohjaisille sanomalehtilaaduille sekä hienopaperilaaduille. /19, 26, 27/

Top Rock ja synteettiset resiinit yleisesti ovat osittautuneet kohtuullisen hyviksi pinnoitteiksi myös keskitelapositioneissa /18, 24, 25/. Kulutuksen kesto on hyvä. Myös vaurioiden korjattavuus on hyvä (kuten kaikilla polymeeripinnoitteilla). Kokemusten perusteella vetoero ei yleensä ole ainakaan suurempi kuin graniitilla. Kaavaroitavuus on myös hyvä. Värähtely on vähäistä verrattuna graniittiin.

Polymeeripinnoitteita käytettäessä ei ole täysin päästy eroon pehmeystä johtuvasta kulumisesta sekä huokoisuuden puutteen aiheuttamasta huonosta vesirenttiosta ja irrotusominaisuuksista /23/. Polymeeripinnoitteille tapahtuvia yleisimpiä vaurioita ovat kaavariterän "haukkaamisen" aiheuttamat pinnoitteen vauriot tai telan deformatuminen aaltomaiseksi, jolloin aiheutuu myös värähtelyongelmia /27/. Polymeeripinnoitteita käytetäänkin nykyään yhä enemmän 3. ja 4. puristintelana.

Potentiaalisimpana graniitin korvaavana pinnoitteena pidetään keraamisia pinnoitteita. Niillä on saavutettu hyvät irrotusominaisuudet sekä erinomainen lämpötilan ja kulumisen kesto. Tähän viittaa myös se, että polymeeripinnoitteiden valmistajat

kehittävät omia keraamipinnoitteitaan ja markkinoille on tulossa myös monia uusia valmistajia /29/.

3.2.3. Metalli- ja keraamipinnoitteet

Puhtaasti metalliset pinnoitteet on tarkoitettu erityisesti korkeassa lämpötilassa tapahtuvaan märkäpuristukseen. Metallipinnoite ruiskutetaan telan pintaan. Pinnat ovat kovia, termisesti stabiileja ja mekaanisesti lujia. Telat ovat halkaisijaltaan yleensä suuria, jolloin ne muodostavat pidempiä nippejä. Pinnat eivät ole huokoisia, mutta niistä voidaan tehdä hydrofiilisiä säätämällä eri metallikomponenttien suhteita. /23/

Täysin uusia pinnoitteita ovat nk. keraamiset pinnoitteet, joissa telan pintaan on termisesti ruiskutettu kerroksittain eri metallioksiedeja ja/tai metalleja. Valmistuksessa käytetään hyväksi korkeassa lämpötilassa olevaa plasmaa, jolla sulatetaan metallinen/keraaminen pulveri. Suihkutettu pinnoite on ominaisuuksiltaan monessa suhteessa graniittia parempi. /23/

Tällaisen telan valmistus koostuu kolmesta vaiheesta: telan runko, sidoskerros ja keraaminen kerros. Eri vaiheilla on ratkaiseva merkitys lopullisen telan ominaisuuksiin. Tela ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa valmistustekniikan muutoksilla. /23/

Telan rungon tehtävänä on antaa riittävä lujuus valmiille telalle. Telan rungon on kestävä suuria nippikuormituksia ilman, että vaippa joustaa merkittävästi. Vaipan pinnan on pystyttävä sitomaan pinnoite riittävän lujasti, että se ei irtoa käytössä. Pinnan sitoutuvaa pinta-alaa voidaan lisätä hiekkapuhalluksella. /23/

Ohut **sidoskerros** sijaitsee telan pinnan ja keraamin välissä. Sen tehtävänä on suojata korroosiolta ja parantaa keraamin sitoutumista. Koska keraaminen kerros on huokoista, vesi ja korrodoivat aineet pääsevät kosketuksiin sidoskerroksen kanssa. Sidoskerros voi koostua esim. nikkelistä ja kromista /24/. Useimpien

keraamien lämpölaajenemiskerroin on yleensä pienempi kuin metallien. /23/

Keraamisen kerroksen valmistuksessa on useita muuttujia, joita säätämällä voidaan vaikuttaa lopputulokseen. Itse suihkutussyksikössä on useita säätöparametreja. Eri materiaaleja ja niiden yhdistelmiä voidaan vaihdella, ja eri aineita voidaan ruiskuttaa kerroksittain. /23/

Tyypillisimpiä metallioksiedeja ovat Al_2O_3 , TiO_2 , SiO_2 ja ZrO_2 . Keraamisia materiaaleja sekoitetaan eri suhteissa toisiinsa riipuen kunkin aineen ominaisuuksista. Nämä metallioksidit tarjoavat erittäin korkean kovuuden ja kulutuskestävyyden sekä hydrofiiliset/hydrofobiset ominaisuudet. Keraamiseen kerrokseen mahdollisesti valittu metallikomponentti lisää sitoutumislujuutta, korroosionkestoa ja lämpölaajenemisominaisuuksia. Pinnoitteen huokoisuutta voidaan säätää 1–30 % välillä muuttamalla pulverin partikkelikokoa. /23/

"The Granite Roll Group" /24/ tutki Ruotsissa 1987 tapahtuneiden onnettomuuksien jälkeen korvaavia pinnoitteita. Eräänä vaihtoehtona oli myös keraaminen Yamauchin valmistama XG-pinnoite, jonka keraami koostui alumiini-titaanidioksidi-pulverista. Telan irrotusominaisuudet olivat erinomaiset, ja irtoamiskulma oli 2–3° graniittia pienempi. Kyseisellä koneella pinnoite ei kerännyt myöskään orgaanista materiaalia pintaansa. Pinnan kaavaroinninkesto oli huomattavasti parempi kuin graniitilla. 550 vuorokauden käynnin jälkeen kulumista ei ollut havaittavissa. Myös kaavarin toiminta oli parempi kuin graniitilla. Telan pinnan karheus vaihteli ajan funktiona, mutta se ei vaikuttanut irrotukseen. Vakava huopavaurio ei aiheuttanut telan pintaan näkyviä vikoja, vaikka lämpötila oli noussut ilmeisesti 200–300°C.

Boise Cascade Corp. /28/ tehtaalla valmistetaan siistausmassapohjaista paperia (max. 67 %). Prosessi on alkalinen ja valmistuksessa käytetään 15 % täyteainetta. Tehtaalla oli tahmo- ja irrotusongelmia polymeeripohjaisia keskitelapinnoitteita käytettäessä. Sulzer Escher Wyss toimitti tehtaalle keraamisen GR-telan, joka on pinnoitettu hydrofobisella keraamilla. Tehtaan alkalisen prosessin vahamaisilla

aineksilla on taipumus tarttua tasoviiran laahaaviin vedenpoistoelimiin sekä puristinteloihin ja kuivatussyntetisointeihin. GR-telan pintaan ei vahamaista ainesta ole kerääntynyt. Vetoero on pienentynyt 30 % ja katkot ovat vähentyneet 50 %.

Valmet Paperikoneet Oy:n kokemukset keraamisesta Valrok-pinnoitteesta ja sen eri muunnelmista ovat olleet hyviä. Irrotusominaisuudet ovat olleet pääosin parempia kuin graniitilla tai kilpailijoiden korvaavilla pinnoitteilla. Joissakin positioissa tulokset ovat olleet samanveroisia muiden pintojen kanssa. Nykyisen kokemuksen perusteella vaikuttaakin siltä, että keraamisen telan irrotusominaisuudet ovat riittävän hyvät. Alueeseen liittyvä kehitystyö liittyykin pääosin kaavarointiin ja sopivan kaavarimateriaalin löytämiseen. /29/

Taulukko 2. Puristintelapinnoitteiden vertailu /18/.

	Kumi	Poly- uretaani	Epoksi	Keraami	Metalli
Max. viivakuormitus	175	250-300	350	300	300
Max. lämpötila	80	60-85	110	ei rajoit.	ei rajoit.
Referenssit	>200	>121	>60	10	4
Höyrylaatikko	kyllä	?	kyllä	kyllä	kyllä
Kovuus (SH D)	82	93	91	100	100
Vetolujuus	23,4	78,5	86,2	143	1500
Sisäinen jäähdytys	kyllä	kyllä	ei	ei	ei

3.3. Pinnoitteiden yleisyys

Maailmassa on käytössä tuhansia graniittiteloja, arviolta noin 3000. Näistä suurin osa on kuitenkin pienillä ja hitailla koneilla. Suurien koneiden valmistaja Valmet Paperikoneet Oy toimittaa nykyään alle joka kymmenennen keskitelansa graniittisena. Näistä pääosa on vanhojen koneiden uusintoja. /29/

Tarkkoja paperilajikohtaisia määriä tai käytössä olevia teloja on erittäin vaikea luokitella. Tämä johtuu osittain siitä, että tärkeimmät valmistajat eivät halua paljastaa tuoreimpia toimituksiaan, vaan ainoastaan noin kahden vuoden takaisen

tilanteensa. Toimitetuista teloista vain osa on koneella, osan ollessa varateloina tai jopa uudelleen pinnoitettuna toisella pinnoitteella. Tästä syystä luvut ovat vain suuntaa antavia.

Stowe Woodward toimittaa Dynarok- ja Centerok-pinnoitteita. Näistä Dynarok on yleisimmin levinnyt ympäri maailmaa. Vuonna -92 toimitettujen telojen kokonaismäärä oli n. 650, joista osa on liimapuristimissa, kalantereissa, varateloina ym. Määrä lisääntyy noin 30 kpl/vuosi. USA:ssa ja Keski-Euroopassa on satoja pinnoitteita ja Suomessa n. 150-200 kpl. Puristinteloina arvioidaan kokonaismäärästä olevan n. 500 kpl. Stowe Woodwardin referenssilistan perusteella painotus näyttää olevan hienopapereissa ja sanomalehtipaperissa. Centerok-pinnoitteita oli vuonna -92 25 kpl, ja luku on tällä hetkellä 40-50. Suomessa Centerok-pintoja on n. 15, mutta kaikki eivät ole käytössä. Centerok-pintoja on tällä hetkellä pääosin puupitoisten paperien valmistuksessa. /30/

Scapa-Kern toimittaa Top-Rock-pinnoitetta. Vuonna -92 toimitetut ja toimituksessa olevien telojen lukumäärä oli 145. Vuonna -91 määrä oli 121, joten vuosittainen kasvu on n. 20 kpl. Tämän perusteella nykymäärä on n. 180 kpl, joista 20 on toimituksessa. Noin 80 kpl referenssilistasta 30 oli hienopaperille, 30 sanomalehdelle ja 10 LWC:lle sekä SC:lle. /31/

Unirock-pinnoite on Kinyosha-yhtymän tuote, jota ei enää markkinoida aktiivisesti Suomessa. Unirockin pääkäyttöalue onkin Aasia ja erityisesti Japani. Pinnoitteiden kokonaismäärä oli vuonna -90 > 121 kpl /18/, mutta pinnoitteet olivat pääosin pienillä koneilla. Suomessa on muutamia Unirock-pinnoitteita.

Valmet Paperikoneet toimittaa Valrok-pinnoitteita. Tämänhetkinen toimitettujen ja tilattujen pinnoitteiden määrä on n. 50 kpl. 43 kappaleen referenssiluettelosta 15 kpl on sanomalehdelle, 12 SC:lle, 9 hienopaperille ja 7 LWC:lle. Valmetin referenssiluettelo on syyskuu-93- tilanne. /28/

4. MÄRKÄOSAN VAIKUTUS RAINAN IRROTUKSEEN

4.1. Rainaus ja märkäpuristus

4.1.1. Viiraosa

Rainaimen toiminta on keskeisimpiä tekijöitä paperinvalmistuksen kannalta. Lopputuotteen laatu on voimakkaasti riippuvainen viiraosan toiminnasta. Hieno- ja täyteainejakauma rainan paksuussuunnassa riippuu rainaimen toiminnasta ja retentiosta. Jos raina on voimakkaasti toispuoleista, adheesio voi vaihdella riippuen siitä, kumpi pinta on telaa vasten. Nykyisillä kitaformereilla täyteaine rikastuu rainan pintaan, jolloin täyteainetta saattaa siirtyä puristuksessa enemmän myös telan pintaan ja aiheuttaa likaantumista sekä kaavarin lisääntyvää kulumista. Lisäksi radan tiivis pinta sitoutuu voimakkaammin telan pintaan.

Kuituorientaatio vaikuttaa rainan lujuus- ja kimmo-ominaisuuksiin venytyksessä. Tästä syystä rainan jännityksen/venymänsietokyky riippuu olennaisesti kuituorientaatiosta ja siten myös rainaimen toiminnasta. Muita vaikuttavia tekijöitä ovat mm. massan laatu, jauhatusaste, käytetyt kemikaalit, täyteaineen määrä ja formaatio. Formaatio voi vaikuttaa myös rainan irrotuksen tasaisuuteen telan pinnasta.

Rainan huono palstautumislujuus saattaa lisätä nukkautumistaipumusta keskiteholla. Palstautumislujuus on taas riippuvainen mm. rainaimen toiminnasta. Useista eri tekijöistä johtuen rainaimella muodostuvan määrän rainan rakenne vaikuttaa puristinosan toimintaan ja tehokkuuteen. Suihkusuhte saattaa vaikuttaa myös radan irrotukseen, koska alle yhden suihkusuhteella ajettaessa raina on tiiviimpi. Suotautuminen on tällöin hitaampaa. Lisäksi kuitujen suuntautuneisuus radan paksuussuunnassa saattaa olla erilainen, mikä voi vaikuttaa nukkautumiseen.

Rainaimen vedenpoistokapasiteetti vaikuttaa myös puristinosan toimintaan. Jos vedenpoistokapasiteetti on liian pieni tai jos se ei ole sama eri paperilajeilla,

rainan kuiva-ainepitoisuus vaihtelee ennen puristinosaa. Tämä aiheuttaa puristinosan jälkeisen kuiva-ainepitoisuuden vaihtelua, rainan erilaista jännitysvenymäkäyttäytymistä, irrotuksen vaikeutumista ja katkojen lisääntymistä.

4.1.2. Retentio

Prosessin toiminnan kannalta on tärkeää, että viiraretentio on hyvä. Kuituretentio on yleensä korkea, mutta hyvän hienoaines- ja täyteaineretention saavuttaminen on usein vaikeampaa. Huono hienoaine- ja tuhkarotentio johtavat siihen, että hienoainetta ja täyteainetta rikastuu lyhyeen ja pitkään kiertoon. Tämä lisää vedenpoistokaluston ja puristinosan likaantumista. Jos käytettävien apukemikaalien retentio on huono, ne voivat kiertovedessä vapaana ollessaan aiheuttaa haitallisia reaktioita, tahmoja, saostumia ym.

Huonon retention johdosta myös imulaatikoilta pitkään kiertoon menevä kiertovesi on konsentroituneempaa, jolloin saostumien ja tahmojen agglomeraation mahdollisuus lisääntyy /32/. Lisäksi massojen laimennukseen käytettävän veden liuenneiden aineiden ja suolojen pitoisuudet ovat jo laimennushetkellä korkeat, mikä lisää korroosio- ja saostumariskiä myös muualla prosessissa.

Liuenneiden aineiden korkeat pitoisuudet lisäävät riskiä, että puristintelojen pintaan voi saostua haitallisia komponentteja, kuten pihkaa, lateksia ja muita tahmoja. Lisäksi kolloidisten aineiden vaikutuksia ei tunneta esim. adheesiotyön kannalta riittävästi, mutta aineiden luonteesta johtuen voisi olettaa, että vaikutukset eivät ole ainakaan joka suhteessa toivottuja.

Retention tulee olla tasainen myös pitkällä aikavälillä, koska retention vaihtelu voi aiheuttaa muutoksia rainan kuiva-ainepitoisuudessa, mikä taas vaikuttaa adheesiotyöhön ja vetoeroihin. Retention vaihtelu voi aiheuttaa muutoksia myös kiertoveden laadussa sekä rainan ominaisuuksissa, jolloin rainan adheesio voi vaihdella tietyllä aikavälillä. Nykyään on tarjolla retention säätösystemejä /33, 34/, joissa viiraveden sakeus pyritään pitämään vakiona. Tällöin lyhyen kierron stabiilisuus

paranee ja viiraosan häiriöt vähenevät. Sääto on käytännössä osoittautunut hyödylliseksi katkojen vähentyessä merkittävästi ja paperin laadun tasoittuessa huomattavasti.

4.1.3. Märkäpuristus

Puristinnipin paineen suuruus vaikuttaa osittain siihen, kuinka lujasti raina mukautuu telan pinnan myötäisesti. Paine voi siten vaikuttaa myös adheesio suuruuteen. Lisäksi nipin paineen suuruus vaikuttaa saavutettavaan kuiva-ainepitoisuuteen ja rainan tiivistymiseen. Nippityyppi vaikuttaa sekä rainan tiivistymiseen (rainan sisäinen koheesio kasvaa) että vedenpoistoon. Nippitapahtumassa vaikuttavat lisäksi rainan ominaisuudet, sisäänmenokosteus sekä lämpötila.

Nipin vedenpoistosuunta vaikuttaa rainan tiheysjakaumaan ja sileyteen siten, että vettä poistava pinta tiivistyy strukturaalisen paineen ja osittaisen täyteaineiden siirtymisen johdosta. Tiivistyminen saattaa vähentää nukkautumistaipumusta koheesio kasvaessa, mutta toisaalta raina voi muodostaa suuremman kontaktipinnan ollessaan telaa vasten. Nykyisillä puristinosilla tiivistyvä huopapinta on telaa vasten vasta neljännessä nipissä, jolloin kuiva-ainepitoisuus on jo suhteellisen korkea. Telaa vasten oleva pinta yleensä silentyä ja huopaa vasten oleva pinta karhentuu.

4.2. Kiertovesijärjestelmä

4.2.1. Kiertoveden laatuun vaikuttavat tekijät

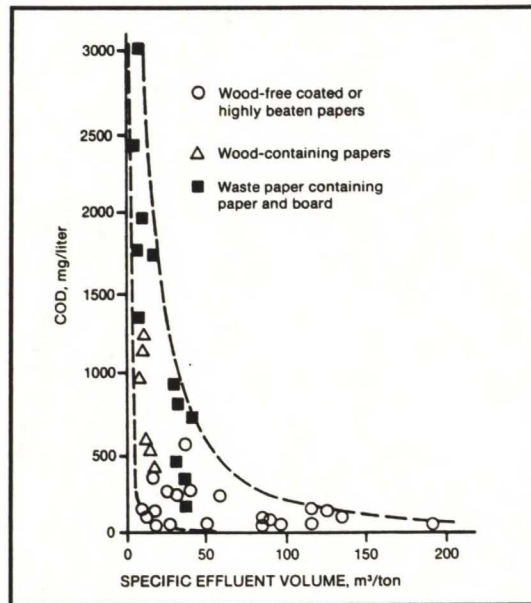
Kiertovesijärjestelmän toiminnan merkitys lisääntyy, kun jätevesipäästöjen vähentämistarpeesta johtuen paperikoneen vesisysteemin sulkemisastetta täytyy kohottaa. Sulkemisasteen nosto kohottaa eri aineiden konsentraatioita kierto-vesijärjestelmässä. Systeemi asettuu johonkin tasapainotilaan, mutta mitä suljettumpi vesikierto on ja mitä pienempien hiukkaskokojen pitoisuuksia tarkastellaan,

sitä kauemmin tasapainon saavuttaminen kestää. Jos kuituretentio on noin 70 %, voi kolloidijakeen retentio olla vain 1 % /35/.

Hitaasta tasapainoon asettumisesta johtuen paperikoneen märkäosa on harvoin tasapainotilassa lyhytkuitujakeen ja kolloidisen aineksen osalta, koska kiertovesijärjestelmästä otettava nollavesi on harvoin tasalaatuista /32, 35, 37/. Tasapainoa häiritsevät katko- ja lajinvaihtotilanteet sekä hylkyjärjestelmän vaihteleva kuormitus. /35/

Kiertovesien pääasiallinen komponentti on nollakuitu. Lisäksi se sisältää paperin raaka-aineita, erilaisia kuituja sekä täyteainetta. Pääosa kiertovesien liuenneista ja kolloidisista (LK-)aineista on peräisin kuitujen valmistuksesta ja sellun jauhauksesta. Muita komponentteja ovat massa- ja pintaliimat, päällystyspastan kemikaalit, useat väriaineet, pH:n säätöaineet, vaahdon-, liman-, korroosion- ja homeenestokemikaalit ja valkaisukemikaalien tähteet sekä raakaveden epäpuhtaudet. /35, 37/

Geller ja Gottsching /38/ ovat tutkineet kiertovesijärjestelmän sulkemisen vaikutuksia liuenneiden orgaanisten aineiden määrään. Lähestyttäessä täydellistä sulkeamista liuenneiden aineiden määrät kasvavat eksponentiaalisesti. Alle 10 m³/t vedenkäyttötasolla häiriöiden todennäköisyys kasvaa selvästi /39/. Ekmanin ja Örsån /39/ mukaan kiertoja suljettaessa aineet rikastuvat veteen eri tavalla. Niukkaliukoisimmat ja helpoimmin kuituihin adsorboituvat aineet poistuvat paperin mukana, tai tarttuvat paperikoneen pinnoille. Tästä syystä näiden suhteellinen osuus kiertovedessä laskee. Esimerkiksi ligniinin ja rasvaliukoisten uuteainesten osuus LK-aineiden kokonaismäärästä laskee kiertoveden LK-ainetason noustessa. Hiilihydraattien suhteellinen osuus vastaavasti kasvaa. Örsån ja Holmbomin /40/ mukaan suuri osa mannoosipitoisista hemiselluloosista adsorboituu valkaistuun sulfaattimassaan, kun sitä lisätään hierresulppuun. Sellun lisäys vähentää siten liuenneiden hiilihydraattien määrää.



Kuva 11. Paperikoneen kiertovesijärjestelmän sulkemisen vaikutukset liuenneiden orgaanisten aineiden määrään /38/.

Taulukko 3. Hierteen LK-aineiden suhteelliset koostumukset avoimessa ja tiukasti suljetussa kiertovesijärjestelmässä. /39/

Aineryhmä	Suhteellinen osuus, %	
	Avoim	Suljettu
Hiilihydraatit	55	74
Ligniini	22	16
Uuteaineet	13	2
Tuhka	10	8

4.2.2. Kiertoveden luonnehtiminen

Kiertovesijärjestelmän tila voidaan jaotella seuraavasti /35/:

1. Fysikaalinen tila
2. Sähkökemiallinen tila
3. Biologinen tila

Sulkemisen vaikutukset **fysikaaliseen tilaan** ovat mm. lämpötilan kohoaminen, liuenneiden ja kolloidisten aineiden pitoisuuksien kasvu. Kiintoaineiden sitoutu-

minen yleensä lisääntyy viiraosalla, puristinosalla ja hylkysaostimella pitoisuuden kasvaessa. Lämpötilan nousu tehostaa vedenpoistoa sekä viira- että puristinosalla. Haittana on biologisen toiminnan lisääntyminen ravinteiden lisääntymisen ja lämpötilan kohoamisen johdosta. /35, 37/

Sulkemisen vaikutuksesta **sähkökemiallinen tila** (pH, johtokyky, Z-potentiaali ja pintajännitys) saattaa muuttua haitalliseen suuntaan. Ongelmia voivat olla mm. vaahtoaminen, korroosio ja kolloidien stabilisuuden häiriintyminen/koaguloituminen. Ongelmia voidaan korjata osittain apukemikaalien avulla (pH-säätö, vaahdonestoaineet, flokkauskemikaalit, koagulantit). /35, 37/

Biologinen tila riippuu kiertovedessä olevien sienien, levien ja bakteerien määrästä sekä kasvuolosuhteista. Näiden perusteella määräytyvät haittavaikutukset, kuten kaasut, lima, saostumat ja välillisesti korroosio. Sulkeminen edesauttaa biologisen toiminnan lisääntymistä (ravinteet, pH, lämpötila). /35, 37/

4.2.3. Liuenneet aineet

Paperikoneen kiertovesi toimii adhesiivina märän rainan ja telan pinnan välillä. Siksi kiertoveteen liuenneet ja siinä epäpuhtauksina olevat aineet vaikuttavat kiertoveden ominaisuuksiin ja siten myös irrotukseen. Seuraavassa tarkastellaan kiertoveteen yleisesti liuenneita aineita alkuperän mukaan:

Epäorgaaniset aineet /35, 37/:

- * veden kovuus, CaCO_3 (Ca- ja Mg-suolat)
- * rauta (tuorevesi), alumiini
- * mangaani, kloridit,
- * vapaa hiilidioksidi, alkaliniteetti (karbonaatti, bikarbonaatti, hydroksyyli-ionit)
- * eri apukemikaalien jäänteet (keitosta, valkaisuusta, alunan sulfaatti, päällystetyn hylyn komponentit, prosessikemikaalit)

Orgaaniset aineet /35/:

- * uuteaineet
- * puun hiilihydraateista peräisin olevat aineet
- * ligniinistä peräisin olevat yhdisteet

Jaottelu voidaan tehdä myös aineiden ominaisuuksien ja olomuodon perusteella taulukon 4 mukaisesti.

Taulukko 4. Kiertovedessä esiintyviä kolloidaalisia aineita /36/.

Tyyppi	Kemiallinen koostumus	Alkuperä
Pinta-aktiiviset aineet	Rasvahapot ja niiden suolat Hartsihapot ja niiden suolat Ei-ioniset pinta-aktiiviset aineet Alkyyli-sulfaatit, sulfonaatit Alkyyliamiinit	Kemiallinen ja mekaaninen massa, hartsiliimat, siistattu massa Kemiallinen massa Dispergointiaineet (pääll. hylky, siistausmassa) Päällystetty hylky Vaahdonestoaineet
Liuenneet polymeerit	Hemiselluloosa, ligniinityypiset aineet CMC, PVOH Kationiset polymeerit (modifioitu PAM, kationinen tärkkelys) Polyeteenioksidi, polysilikaatti ("vesilasi")	Kemiallinen ja mekaaninen massa Päällystetty hylky Retentioaineet Peroksidivalkaistu massa (kierrätysmassa)
Dispergoituneet partikkelit	Liukenemattomat rasva- ja hartsihapot, neutraaliaineet Kaoliini, kalsiumkarbonaatti Talkki Lateksi /SB, akrylaatti, PVAc Silikaattihiukkaset, bentoniitti Emulgoitu öljy	"Pihka", hydrofobointiaineet, siistattu massa Täyteaineet, pääll. hylky, kierrätysmassa Pihkantorjunta-aineet, pääll. hylky Pääll. hylky, kierrätysmassa Retentioaineet Vaahdonestoaineet, pihka

Kiertovedessä olevat lisäaineet voivat olla osakomponentteina tahmoissa. Tällaisia lisäaineita ovat yleensä dispersiomuodossa olevat tuotteet, kuten vaahdonestoaineet, hartsiliima, neutraaliliima ja sen hydrolysoitumistuotteet. Ongelman aiheuttaa yleensä yliannostus, väärä lisäyspaikka tai huono retentio paperiin. /41/

Uuteaineet eivät varsinaisesti ole liuenneita aineita, vaan ne dispergoituvat kuidun pinnalta pieninä pisaroina vesifaasiin /35, 42, 43/. Ne voivat tarttua mm. puristintelojen pintaan ja aiheuttaa huomattavia ajettavuusvaikeuksia pihkaongelmina. Emäksisessä ympäristössä uuteaineet liukenevat alkalien aiheuttaman hydrolyysin seurauksena veteen ja vastaavasti saostuvat kiinteään happomuotoon happamassa ympäristössä. PH-riippuvuudesta johtuen paperikoneprosessin voimakkaat pH-muutokset voivat aiheuttaa pihkavaikeuksia.

Havupuun pihka on pääosin hartsihappoja, jotka ovat suoloina tai estereinä. Hartsi- ja rasvahapot ovat vedessä luontaisesti stabiileja ja anionisia. Samanmerkisestä eli anionisesta varauksesta johtuen ne hylkivät toisiaan. Huonosta vesiliukoisuudesta johtuen pihkapallot pyrkivät kuitenkin rikastumaan vesifaasin rajapinnoille ja muodostamaan pintafilmejä. Jos muodostunutta pintafilemiä ei hajoteta heti muodostumisen jälkeen, siihen kerääntyy vähitellen veteen suspendoituneita aineita (nollakuituja, täyteaineita, hyllyn komponentteja), jotka voivat aiheuttaa saostumia yhdessä pihkan kanssa. Jauhatuksessa ja kuidutuksessa paljastuu puun ja kuidun sisältä uusia pihkapitoisia ydinsädesoluja, jotka voivat puristimella tarttua telan pintaan ja aiheuttaa nukkautumista. /35/

Hiilihydraatit ovat lähinnä puusta liuenneita hemiselluloosia, jotka voivat olla peräisin massanvalmistuksesta tai jauhatuksesta. Valkaisu voi myös pilkkoa ja liuottaa lisää hemiselluloosia. Hemiselluloosat ovat vesiliukoisia, mutta ne saattavat toimia anionisten häiriöaineiden tapaan ja aiheuttaa mm. kationisten lisäaineiden tehon heikkenemistä. /35/

Ligniini-peräiset aineet irtoavat ja liukenevat samantyyppisesti kuin hiilihydraatit. Ekmanin ja Örsån /39/ mukaan mekaanisessa kuidutuksessa lignaanit liukenevat

kiertoveteen lähes täydellisesti. Hiertämö- ja hiomovesistä on mitattu keskimäärin 100 mg/l lignaaneja. LK-aineiden kokonaismäärän kasvaessa rasvaliukoisten uuteaineiden pitoisuudet vakiintuvat omille tasoilleen, mutta lignaanien kohdalla vakiintumista ei tapahdu, vaan pitoisuudet voivat nousta korkeiksi. Kemiallisen massan valmistuksessa keittokemikaalit pilkkovat ligniiniä pienimolekyyllisemmäksi ja/tai helpommin liukenevaksi. Sekä hiilihydraattien että ligniiniperäisten aineiden osalta kemiallisen massan pesun merkitys on suuri, koska pesutulos vaikuttaa aineiden pitoisuuksiin. Paperikoneella esiintyy yleensä suurimolekyyllisiä yhdisteitä. Hiilihydraattien ja ligniinin merkitys korostuu mekaanisissa massoissa, joiden valmistuksessa ei yleensä käytetä pesua. /35/

Orgaaniset ja epäorgaaniset aineet voivat vaikuttaa monin tavoin paperikonesysteemissä. Ne saattavat adsorboitua kuidun pintaan ja estää siten retentio- ja lisäaineiden sitoutumisen heikentäen retentiota ja lisäaineiden toimintaa. Ne voivat reagoida myös suoraan eri kemikaalien kanssa, jolloin kemikaalit eivät voi enää reagoida kuidun kanssa. Ne voivat lisätä limaongelmia, jolloin saostuma- ja likaongelmat lisääntyvät /42/. Lisäksi ligniinin sitoutuminen saattaa heikentää paperin lujuutta. Hemiselluloosan sitoutuminen saattaa toisaalta parantaa paperin lujuutta. /35/

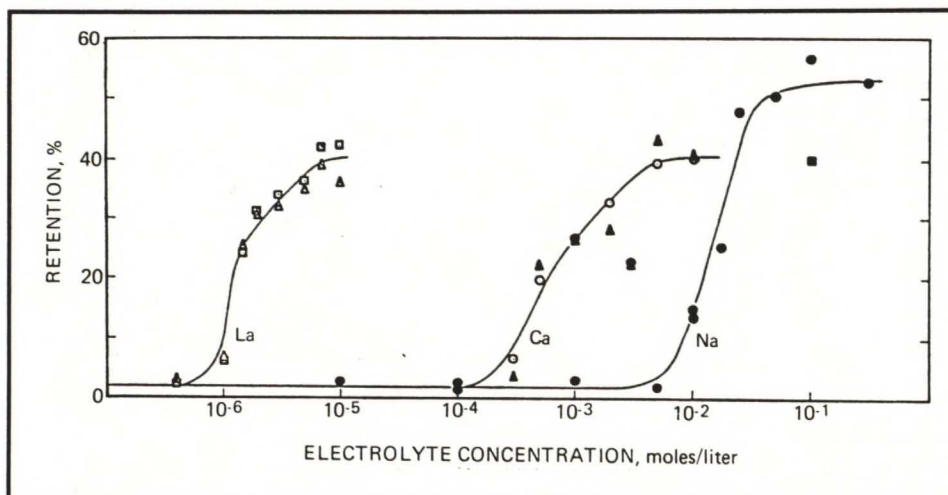
Rainan heikkeneminen ja retention pienentyminen vaikuttavat molemmat haitallisesti puristinosan toimintaan sekä suoraan että epäsuorasti. Lisäksi liuenneet aineet voivat saostua suoraan telan pintaan, jolloin ne voivat aiheuttaa irrotusvaikeuksia ja nukkautumista. Pintajännitykseen ja kosketuskulmaan vaikuttavat aineet voivat muuttaa adheesiotyötä ja siten koko puristinosan toimintaa. Tällaisia voivat olla esim. vaahdonestoaineet ja veteen liuenneet suolat, esimerkiksi kalsium.

Tiettyjen aineiden liukoisuutta rajoittaa konsentraatio. Tällaisia aineita ovat mm. puuperäiset materiaalit, kuten hemiselluloosat, jotka ovat adsorptio-desorptiotasapainossa kuitufaasin kanssa. Liukoisuus pienenee konsentraation kasvaessa. Myös pH on merkittävä liukoisuuteen vaikuttava tekijä. Monien kiertovedessä olevien yhdisteiden liukoisuustulo on paperikoneen kiertoveden pH-alueella (esim. Ca).

PH:n noustessa ligniiniperäisten yhdisteiden liukoisuus kasvaa, koska protolyysi lisääntyy. Myös dispergoituneen pihkan pinnalla hartsi- ja rasvahapot protolysoituvat ja muuttuvat paremmin liukeneviksi pH:n kasvaessa. Näiden happojen liukoinen natriumsuola saattaa saostua kalsiumsuolana ja aiheuttaa pihkavaikeuksia. /44/

Liunneen kolloidaalisen materiaalin liukoisuus riippuu myös elektrolyyttipitoisuudesta ja vastakkaisesti varautuneista liukoista kolloideista. Liunneiden aineiden keskinäinen vuorovaikutus vaikuttaa niiden käyttäytymiseen. Toistaiseksi liunneiden aineiden vuorovaikutuksia tunnetaan melko huonosti. /44/

Yksittäisten partikkelien kolloidaaliseen stabiilisuuteen vaikuttaa vesifaasin ionivahvuus, metalli-ionipitoisuus ja pH. Ionivahvuuden ja metalli-ionipitoisuuden kasvu ohentaa partikkelin ympärillä olevaa sähköistä kaksoiskerrosta, jolloin partikkelien välinen repulsio vähenee. Tuloksena saattaa olla agglomeroituminen. PH vaikuttaa partikkelien pintavaraukseen protolyysin kautta. PH:n noustessa protolyysi lisääntyy. Jos varauspotentiaali pienenee, agglomeraation todennäköisyys kasvaa. Korkea suolapitoisuus vaikuttaa kuidun ja koko järjestelmän sähkökineettisiin ominaisuuksiin ja siten myös retentioon. /35, 41/



Kuva 12. Kationien varauksen vaikutus saostumistehokkuuteen (Na^+ , Ca^{2+} , La^{3+}) /45/.

Korkea johtokyky on usein indikaatio siitä, että kiertovedessä on paljon potentiaallisia saostumanaiheuttajia. Kationien suhteellinen tehokkuus kolloidin saostuksessa on kääntäen verrannollinen niiden hapetusluvun kuudenteen potenssiin. Eli suolojen kyky koaguloida kasvaa hapetusluvun mukaisessa järjestyksessä esim. Na^+ , Ca^{2+} , Al^{3+} . PH:n laskeminen samanaikaisesti korkean johtokyvyn kanssa johtaa helposti ajettavuusongelmiin. Korkea suolapitoisuus heikentää kolloidien stabiilisuutta kaksoiskerroksen ohentuessa ja voi johtaa koaguloitumiseen ja saostumien syntymiseen erityisesti pH:n laskiessa. Esimerkiksi pihkasaostumat saattavat syntyä edellämainitun mekanismin mukaisesti.

Kiertoveden liuennut aine muuttuu myös koko ajan. Happea sisältävissä lämpimissä vesissä tapahtuu hydrolyysiä ja hapettumista. Liuennut aine toimii ravintona bakteereille. Jos bakteeritoiminta kuluttaa hapen, alkaa tämän jälkeen pelkistyminen. /44/

4.2.4. Kiertoveden puhdistus

Kiertovettä puhdistetaan sekä mekaanisin että kemiallisin menetelmin tai näiden yhdistelmin. Mekaaniset menetelmät voivat perustua mm. laskeuttamiseen, suodattamiseen sekä vaahdottamiseen. Kirkas suodos tai kirkaste lasketaan säiliön kautta kanaaliin (jos ei voida muuten käyttää). Mekaanisilla menetelmillä voidaan kerätä osa kiintoaineesta talteen, esim. rumpu- tai kiekkosuotimella. Mekaaniset menetelmät eivät pysty poistamaan kiertovedestä liuenneita aineita. Liuenneiden aineiden poistaminen muodostuu yhä tärkeämmäksi vesisysteemin sulkemisasteen noustessa. Yleisesti käytettyjä kemiallisia menetelmiä ovat lähinnä kemiallinen flokkaus ja saostus. /35, 37/

Uusia puhdistusmenetelmiä ovat kalvotekniset erotusmenetelmät, flotaatio, haihdutus, jäädytyskiteytys, kemialliset menetelmät sekä tehtaan sisäinen biologinen puhdistus. /37/

Mekaanisten talteenottimien läpi kulkeutuva aines on kiertovedessä yleensä stabiilina kolloididisersiona. Pienet hiukkaset aiheuttavat pääosan sameudesta ja väristä. Kemiallisen käsittelyn tavoite on yleensä destabiloida kolloidit, jolloin hiukkaset agglomeroituvat isommiksi partikkeleiksi, jotka voidaan erottaa tavanomaisin mekaanisin keinoin. /35/

Erityyppisiä kationisia polymeerejä käyttämällä voidaan laskea liuenneiden aineiden pitoisuuksia kiertovedessä. Aineet eivät toimi kuitenkaan samalla tavoin kaikkien komponenttien suhteen, joten kationiset polymeerit eivät ole aina oikea ratkaisu prosessin hallintaan /37, 43/. Tästä syystä ratkaisut ovat prosessikohtaisia toivotun vaikutuksen aikaansaamiseksi. Myös oikean annostuskohdan ja annostusmäärän löytäminen on erittäin tärkeää.

4.3. Hapan prosessi

Hapan prosessi pohjautuu yleensä alumiinisulfaatin eli alunan käyttöön. Alunan reaktiot ovat hyvin monimutkaisia ja riippuvat voimakkaasti pH:sta. Alunan etuna on halpuus sekä kyky saostaa ja sitoa kolloidisia häiriöaineita kuituihin. Lisäksi aluna sitoo väriaineita, liimoja ym.

Alunaa voidaan käyttää raakaveden, massan sekä kiertoveden puhdistukseen hienoaineksesta sekä anionisista liuenneista ja kolloidisista häiriöaineksista /35, 46/. Kaikki häiriöaineet eivät ole kuitenkaan anionisia, eivätkä kaikki anioniset liuenneet ja kolloidiset aineet välttämättä aiheuta häiriöitä /42/. Tästä syystä alunan tai polyelektrolyyttien käyttö ei välttämättä merkitse stabiilia ajettavuutta.

Prosessin pH säädetään yleensä välille 4 – 5. Happaman prosessin alunan aiheuttamina haitoina voidaan pitää korroosion lisääntymistä, sulfaatin rikastumista suljetuissa järjestelmissä, ei-toivotut saostumat, vaahtoaminen ym. /35/

Nykyään on yhä enemmän koneita, jotka valmistavat paperia happamassa pH:ssa ilman alunaa. pH:n säätöön käytetään tällöin NaOH:a ja H_2SO_4 :a tai SO_2 -vettä. Tällöin vältetään alunan aiheuttamat ongelmat. Tällaista prosessia voidaan ajaa usein pH:ssa 5 – 5,5, mikä sopii paremmin karbonaattipitoisen massan käyttöön. Alunan hyvien koagulointiominaisuuksien korvaamiseksi joudutaan usein käyttämään synteettisiä polymeerejä kolloidisen aineksen sitomiseksi. Tarve riippuu kuitenkin prosessin raaka-aineista ja sulkemisasteesta. Hyvin yleisesti käytetty polymeeri puupitoisilla massoilla on esim. poly-DADMAC.

Puristinosan suihkuvedet ovat vanhemmilla koneilla usein puhdasta vettä, joiden pH voi olla noin 7. Puristinosalle kulkeutuu rainan mukana erilaisia kiertoveden komponentteja. Prosessin ja puristinosan pH-ero saattaa aiheuttaa saostumis- tai tarttumisongelmia huopiin ja telojen pintoihin /47/. Voimakas pH-nousu voi aiheuttaa esim. alumiinihydroksidi-kompleksin muodostumisen /47/. Uusilla koneilla suihkuvedet ovat puhdistettua kiertovettä, joiden pH on samansuuruinen massan kanssa. Monien partikkelien pH-riippuvuudesta johtuen tulisi välttää voimakkaita pH-muutoksia. Partikkelien pitoisuus on ratkaiseva tekijä, eli puhdas kiertovesi pienentää tahmo- ja saostumariskiä.

4.3.1. Mekaaninen massa

Mekaanisen massan valmistuksessa ja jauhatuksessa kuiduista irtoaa fibrillejä, lamelleja sekä isompia kuidunkappaleita. Mekaanisista massoista liukenee kiertoveteen kuidutuksessa ja seuraavissa käsittelyvaiheissa 2–5 % puuaineksesta /39/. Eli mekaanisten massojen mukana kulkeutuu liuenneita ja kolloidisia aineita 20–50 kg/t massaa /42/. Osittain tai kokonaan liuennut aines koostuu pääosin hemiselluloosista ja ligniinistä. Täysin avoimessa järjestelmässä valkaisu- ja värjäysaineista vapautuvista LK-aineista 40 % on hiilihydraatteja, 14 % rasvaliukoisia uuteaineita, 7 % lignaaneja ja 2 % pienimolekyylisiä happoja /39/. Loppuosan muodostavat ligniini, kuoriperäiset fenolit, proteiinit, kolloidaalinen kuituhienoaines ja epäorgaaniset suolat /39/. Liukenevat määrät riippuvat massan laadusta (puulaji, kuoripitoisuus ja varastointitapa), jauhatuslämpötilasta, jauhatus-pH:sta,

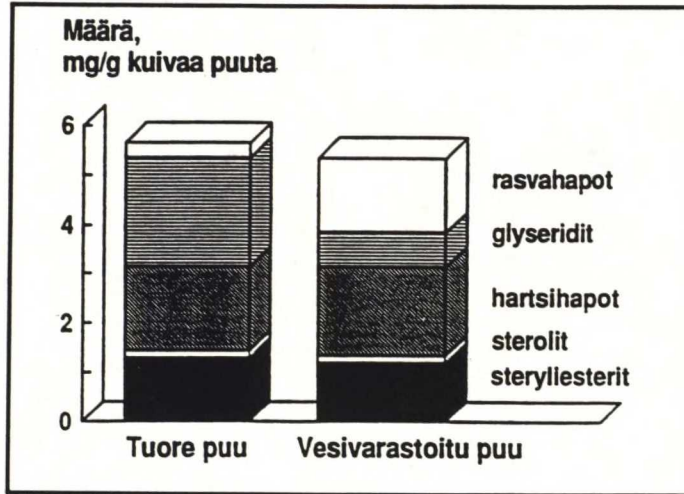
viipymästä, sakeudesta ja kiertoveden konsentraatioista /39, 42, 48/. TMP:stä liukenee kolloidialainesta jopa kaksinkertaisesti hiokkeeseen verrattuna /39, 42/.

Pihkaa on kuusipuussa keskimäärin noin 1 % /43/. Pihkatiehyeissä oleva pihka koostuu pääasiassa hartsihapoista. Ydinsäteiden parenkyymisolujen pihka koostuu rasvoista (triglyseridit ja rasvahapot), vahoista (sterolierit) sekä steroleista /35, 39/. Pihkan määrään ja koostumukseen vaikuttavat puun laatu sekä varastointiaika ja -tapa. Pihkan muutokset tapahtuvat sekä entsyymien että ilman hapen vaikutuksesta /49/.

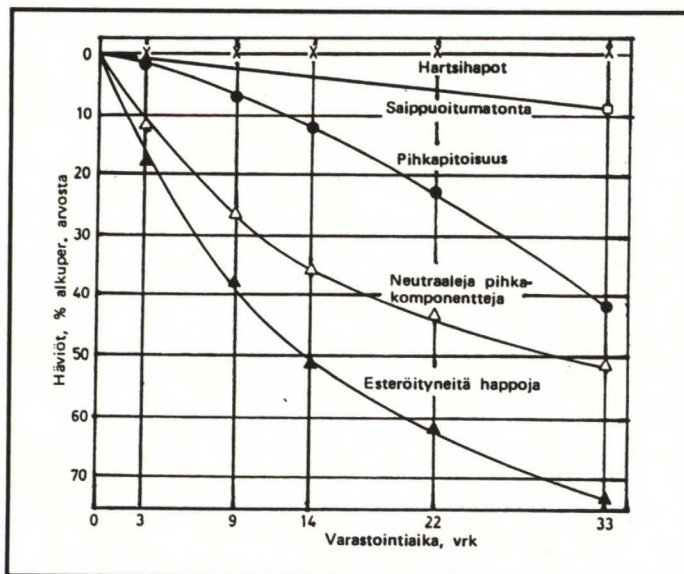
Kuusen mantopuun sokeripitoisuus vaihtelee vuodenaikojen mukaan. Fruktosin, glukoosin ja sakkaroosin pitoisuudet ovat korkeimmillaan talvikuukausina ja alhaisimmillaan kesällä /39/. Kuusen rasvaliukoisten uuteaineiden pitoisuudet ja koostumukset eivät elävässä puussa vaihtelee vuodenaikojen mukaan /39/. Vuodenaikojen vaikutus voi näkyä eripituisen varastointiajan johdosta uuteainepitoisuuden tai -koostumuksen muutoksina.

Mekaanisista massoista vapautuvan rasvaliukoisen pihkan kolloidinen stabiilitetti ja viskositeetti ovat tärkeitä tekijöitä saostumis- ja tarttumisalttiuden kannalta. Puun varastointi vähentää pihkaongelmia, koska pinta-aktiivisten vapaiden rasvahappojen osuus kasvaa. Pihkapallosten pintakerroksen negatiivisen varaus- tiheyden kasvu voimistaa sähköstaattista repulsiota. Toisaalta rasvahappojen muodostamien kalsium- ja muiden moniarvoisten kationien saippuoiden muodostumisriski kasvaa, erityisesti jos pH-arvo nousee jossakin vaiheessa yli kuuden. Esimerkiksi vesivarastoinnissa ja kosteassa maavarastoinnissa neutraalit öljymäiset triglyseridit hydrolysoituvat entsyymaattisesti vapaiksi rasvahapoiksi /39, 43/. Kuivassa pöllimaavarastoinnissa ei tapahdu suuria uutepitoisuuden muutoksia, mutta tyydyttymättömiä rasvahappoja voi kuitenkin hapettua /39/. Erityisesti hakevarastoinnissa poistuu osa pihkan haihtuvista komponenteista, jolloin pihkan viskositeetti nousee. Tämä voi osaltaan vaikuttaa pihkan tarttuvuuden vähenemiseen. /43/

Pihkahaittojen torjunnan kannalta olisi edullista sitoa dispergoitunut pihka mahdollisimman pian kuidutuksen jälkeen tai pitää pihka mahdollisimman hyvin dispergoituneena. Tällainen ratkaisu on mm. pihkatalkin, alunan tai kationisen polyelektrolyytin tai vastaavasti dispergointiaineen syöttö hiertämöllä tai sa-keamassaan varastotornin jälkeen ennen koneelle annostelua.



Kuva 13. Tuoreen ja kesän yli merivedessä varastoidun kuusitukkipuun pihkamäärä ja koostumus [43/.



Kuva 14. Esimerkki kuusihakkeen varastoinnissa tapahtuvista pihkan muutoksista. [49/

Mekaanisen massan peroksidivalkaisu emäksisissä olosuhteissa lisää liuenneiden orgaanisten aineiden määrää kaksin- jopa kolminkertaiseksi /39, 42, 48, 50/. Valkaisussa liukenee lisäksi erilaisia happoja kuten etikka- ja muurahaishappoa /42, 50/. Peroksidivalkaisun reaktiotuotteina massaan jää natriumia, silikaattia, kompleksinmuodostajia ja hapotuskemikaalia /44/. Stabilaattorina käytettävä silikaatti voi reagoida anionisesta varauksestaan johtuen kationisten polymeerien kanssa /51/. Muodostuneet saostumat ovat harsomaisia geelejä, jotka paperiin joutuessaan aiheuttavat puristinosalla katkoja. Erityisesti yli 200 mg/l silikaattipitoisuuden on havaittu aiheuttavan saostumia ja ongelmia /51/.

Hapotuskemikaalina voidaan käyttää joko rikkihappoa tai rikkidioksidivettä. Rikkidioksidivesi hajottaa jäännösperoksidin, jolloin sitä ei kulkeudu koneelle. Rikkihappoa käytettäessä jäännösperoksidi ei hajoa, vaan jää massaan. /52/

Taulukko 5. LK-aineet valkaisuemattoman ja peroksidivalkaistun kuusihierresulpun vesifaasissa. Näytteet on eristetty sentrifugoimalla. /43/

	VALKAISEMATON	VALKAISTU
TOC, mg/l	214	288
Johtokyky, mS/cm	0,7	5,8
Kationin tarve, µeq/L	100	360
Etikkahappo, mg/L	10	200
Muurahaishappo, mg/L	1	35
Hiilihydraatit, mg/L	209	136
Lignaanit, mg/L	23	6
Lipofiiliset uuteaineet, mg/L	50	45
Neutraalit uuteaineet, mg/L	37	20
Happamat uuteaineet, mg/L	67	90

Taulukosta 5 havaitsee, että orgaanisen hiilen kokonaiskonsentraatio (TOC) kasvaa emäksisessä peroksidivalkaisussa. Etikkahapon (asetatiin) vapautuminen massan asetyyliryhmiä sisältävistä hemiselluloosista on tärkein TOC-arvoa kohottava tekijä. Muurahaishappoa saattaa muodostua ligniinin hapetustuotteena. Johtokyvyn

kohoaminen johtuu pääasiassa muodostuneesta asetaatista ja lisätyistä valkaisu-kemikaaleista. Näiden lisäksi johtokykyä kohottaa massasta valkaisussa vapautuva anioninen polygalakturonihappo. /43/

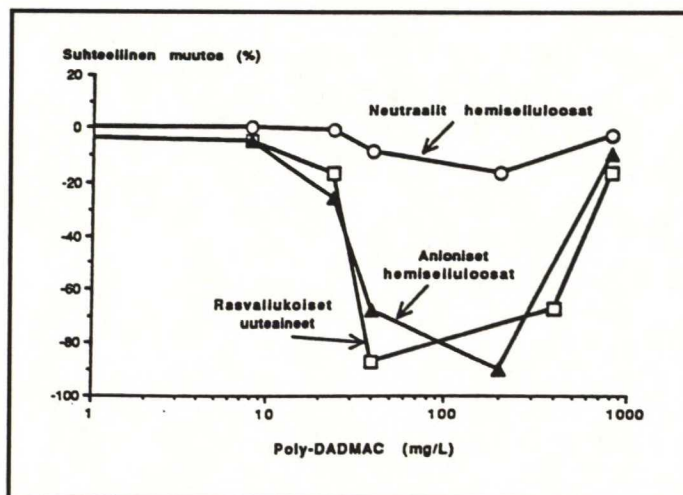
Ekmanin /43/ mukaan polygalakturonihappo on vesiliukoinen puupolymeeri, joka voi muodostaa flokkautuvia komplekseja kationipolymeerien kanssa. LK-aineiden kationitarve kasvaa huomattavasti aineen vapauduttua valkaisussa mekaanisesta massasta. Hiilihydraattien kokonaispitoisuus sulpun vesifaasissa laskee deasetyloijujen hemiselluloosien saostuessa valkaisussa kuiduille. Samalla anionisten hemiselluloosien osuus verrattuna neutraaleihin hemiselluloosiin kasvaa merkittävästi /39/. Uuteaineista rasvaliukoisen pihkan pitoisuus laskee hyvin vähän verrattuna vesiliukoisiin lignaaneihin. Korkeassa pH:ssa liuenneet pihkakomponentit saostuvat pH:n laskiessa uudelleen muodostaen koostumukseltaan erilaisia kolloideja kuin ennen valkaisua /48/.

Alkalinen peroksidi ei hajota merkittävästi rasvaliukoisia uuteaineita (pihkaa), koska ne ovat kolloidisessa faasissa. LK-aineiden kolloidisen osan, koko n. 0,2–0,4 μm , on todettu koostuvan pääosin uuteaineista eli pihkasta /48/. Kuitenkin hartsihapot ja lignaanit hapettuvat, jolloin rasvapallosten kolloidinen stabiliteetti heikkenee repulsiovoimien pienentyessä. Tällöin kolloidit voivat flokkaantua ja kohtuullisen suolalisäyksen seurauksena, jolloin pihka- ja saostumariski kasvaa. /42/

Laboratoriokokein /43/ on havaittu, että pihkakomponentit ovat sameuden pääasiallisia aiheuttajia peroksidivalkaistussa hierteessä. Vapautuvat polygalakturonihapot ovat vesiliukoisia, eivätkä vaikuta sameuteen merkittävästi. Polygalakturonihappojen konsentraatiot noudattavat kuitenkin pihkan konsentraatioita suolalisäyksen vaikutuksesta. Hapot voivat muodostaa kalsiumin ansiosta liukene-mattomia rakenteita, joiden muodostuminen saattaa myötävaikuttaa kolloidisen pihkan poistumiseen vesifaasista. Ilmiön seurauksena pihkaa voi saostua tilanteis-sa, joissa polygalakturonihappoa sisältävä kiertovesi sekoittuu kalsiumpitoisen kiertoveden tai sulpun kanssa.

Ditioniittivalkaisu ei vaikuta merkittävästi liuenneiden ja kolloidisten aineiden määrään ja koostumukseen /42/. Ditioniittivalkaistun massan mukana kulkeutuu koneelle valkaisukemikaalien reaktiotuotteet: sulfaatti, sulfiitti, tiosulfaatti ja polytionaatit /44/. Reaktiotuotteet nostavat massan johtokykyä, jolloin ditioniittivalkaisun vaikutusten leviäminen prosessissa voidaan havaita johtokykymittauksella. Reaktiotuotteet voivat laskea massan pH:ta, erityisesti jos valkaisu suoritetaan optimiolosuhteita alhaisemmassa pH:ssa. Peroksidi- ja ditioniittivalkaistujen massojen erot voi havaita kolloidititrauksella, jossa peroksidivalkaistun massan kationin tarve on huomattavasti suurempi. Mekaanisen massan korkea anioninen pintavaraus tukee kappaleessa 3.1.4. mainittua kemimekaanisen massan pinnan happamuudesta saatua tulosta, koska happamat ryhmät muodostavat anionisen pintavaruksen vesiliuoksessa.

Nykyään käytetään yleisesti kationisia polymeerejä, erityisesti poly-DADMACia, LK-aineiden sitomiseen kuituihin. Kuvassa 14. on esitetty poly-DADMACin vaikutukset peroksidivalkaistun hierteen LK-ainepitoisuuteen.



Kuva 15. Eri LK-aineiden pitoisuuksien muutokset poly-DADMAC lisäyksen jälkeen. Peroksidivalkaistu kuusihierre, sakeus 1 %. /39/

4.3.2. Kemiallinen massa

Kemiallisessa massassa voi olla sellutehtaalta peräisin olevia suoloja, puun uuteaineita, hiilihydraatteja sekä ligniinin hajoamistuotteita. Liuenneet hiilihydraatit ovat hydrofiilisiä, mutta voivat käyttäytyä anionisten häiriöaineiden tapaan /35/. Ligniininperäiset aineet ovat hydrofobisia ja ovat usein kolloiditilassa eli ovat myös nk. anionisia häiriöaineita /35/. Massan laatu riippuu voimakkaasti pesutuloksesta. Erityisen vaikeaa on pesulla poistaa kolloidiset rasvaliukoiset uuteaineet /42/. Massaan jää myös keitto- ja valkaisuliemien jäämiä /42/. Yleisesti voidaan sanoa, että integroidussa tehtaassa putkimassa on ongelmallisempaa kuin paalimassa, koska saattoveden mukana tulee helpommin sellutehtaan kemikaaleja paperikoneen prosessiin yhden pesuvaiheen jäädessä pois. Liunneen ja kolloidisen orgaanisen aineen määrä on sellumassassa yleensä vain 10–20 % mekaanisen massan määrästä.

Massan laatuun vaikuttaa myös keitto- ja valkaisuolosuhteet, koska uuteaineiden liukeneminen ja pilkkoutuminen riippuu sellutehtaan kemikaalikierrosta ja keittolosuhteista. Havupuumassan uutepitoisuus on yleensä alle 0,1 %, jolloin havupuumassa aiheuttaa harvoin pihkaongelmia. Koivupuusellun uutepitoisuus saattaa olla yli 0,5 %. Koivun pihka on löydetty usein osakomponenttina saostumisissa paperitehtaalla /48/. Lehtipuun pihka on öljymäistä; pääosin rasvaa, vahaa ja steroleja; eikä sisällä hartsihappoja /35/. Öljypalloset ovat rasvahappokerroksen suojaamia ja helposti dispergoituvia. Lehtipuun pihka on kloorautuessaan tahmaavaa, ja on siten usein syy tarttumisongelmiin. Korkea uutepitoisuus johtuu keitossa saippuoituvien hartsihappojen puuttumisesta koivupuusta /49/. Saippuoituvat hartsihapot liuottavat neutraaliaineita, jolloin niiden poistuminen nopeutuu. Tästä syystä koivumassan pihkaongelmia voidaan vähentää lisäämällä keittoon mäntykeittojen mäntyöljyä.

Mekaanisen massan pihka ei suuresta määrästä huolimatta ole välttämättä ongelmallisinta, koska mekaaninen massa valkaistaan joko peroksidilla tai ditioniitilla. Kemiallinen massa valkaistaan tavallisesti kloorilla tai klooridioksidilla, nykyään

pääasiassa klooridioksidilla. Alkuainekloorin käyttö on pohjoismaissa nykyään vähäistä. Kloori reagoi todennäköisesti tyydyttymättömien rasvahappojen kaksois-sidosten kanssa /49/. Lisäksi voi tapahtua hapettumisreaktioita /49/. Kloorautunutta pihkaa tulee systeemiin erityisesti, kun käytetään valkaistua koivusulfaattimassaa. Klooridioksidin käyttö on vähentänyt pihkavaikeuksia johtuen klooridioksidin hitaammasta reaktiosta tyydyttymättömien yhdisteiden kanssa /49/. TCF-massojen (Totally chlorine free) yleistymisen poistaa kloorautuneen pihkan aiheuttamia ongelmia. Toisaalta uudentyyppinen massa voi aiheuttaa uudenlaisia ongelmia. Koivumassojen aiheuttamat pihkavaikeudet ovat puuvapaiden paperien valmistuksessa eräs hankalimmin ratkaistavissa olevista ongelmista. /35/

4.3.3. Päälystetty hylky

Päälystetyn hyllyn mukana prosessiin kulkeutuu dispergoitua päälystettä, joka on joko irrallisina partikkeleina tai kuituihin kiinnittyneenä. Päälystyspastojen pintakemiallisesta rakenteesta johtuen pastakomponenteilla on anioninen pintava-raus. Anionisella dispergointiaineella lietetyt pigmentit muodostavat pääosan päälysteen materiaalista. Lisäaineena käytetään usein CMC:tä, tärkkelystä (vesiliukoisia sideaineita) tai synteettisiä latekseja. Märkäosan kannalta merkittä-vimpiä pastakomponentteja ovat sideaineena käytetyt synteettiset lateksit. Ylei-simmät lateksit ovat SB- (styreeni-butadieeni), PVAc- (polyvinyylisetaatti) ja akryylipohjaisia. Ne ovat yleensä anionisesti (happoryhmillä ja pinta-aktiivisilla aineilla) stabiloituja. Lateksit ovat myös termoplastisia, eli niillä on tietty lasittu-mislämpötila. /48/

Päälystettyjen paperilajien valmistuksessa hyllyn kautta prosessiin tuleva hajonnut lateksipolymeeri on pihkan tavoin luonteeltaan hydrofobista /35/. Lateksi ei ole kuitenkaan öljymäistä kuten pihka. Lateksi voi myös tarttua puristinpinnoille, vedenpoistoelimiin ja puristinhuopiin, jolloin ajettavuus heikkenee /46/. Päälyste-tyn hyllyn mukana kulkeutuvien LK-aineiden määrät riippuvat sideaineiden, dispergointiaineiden sekä muiden lisäaineiden määristä ja koostumuksesta /53/. Ongelmat lisääntyvät, jos päälystettyä hylkyä varastoidaan hylkytornissa pitkään.

Mikrobien toiminta saattaa lisätä päällystetyn hyllyn tahmaavuutta. Päällystetyn hylkyyn liittyvät ongelmat koskevat myös alkalista prosessia puupitoisten ja puuvapaiden paperien valmistuksessa.

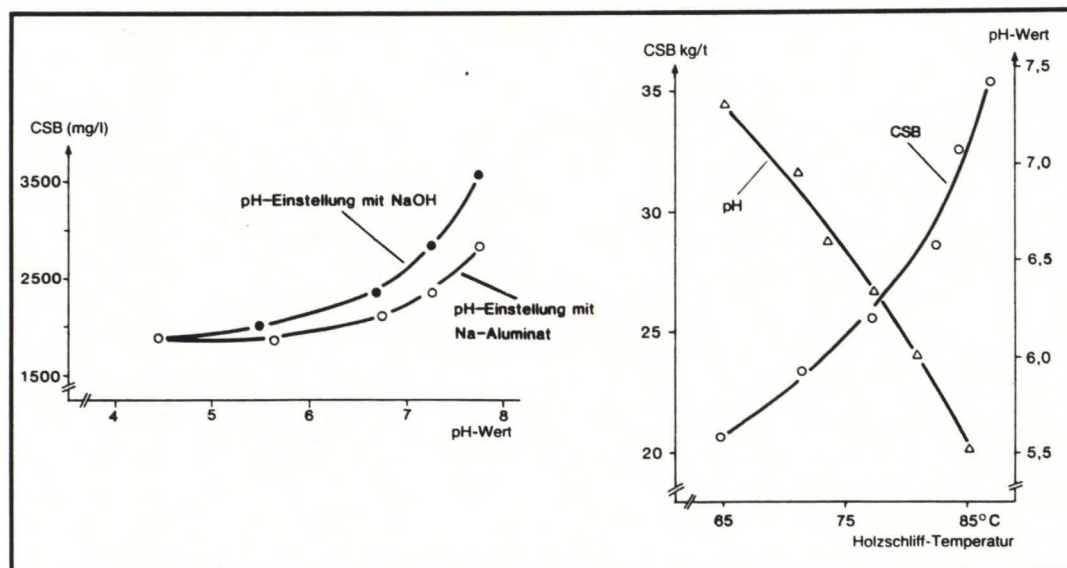
Päällystetty hylky vaikuttaa anionisen kuorman lisäyksen kautta retentiojärjestelmän toimintaan ja lisäaineiden retentioon. Etenkin anionisen kuorman vaihtelu vaikeuttaa märkäosan hallintaa repulsiovoimien vaihdellessa. Kun dispergoituneiden partikkelien stabiilius häiriintyy, partikkelit koaguloituvat ja saostuvat prosessilaitteisiin. Tämä johtaa paperikoneen, huopien ja viirojen likaantumiseen sekä vedenpoisto-ominaisuuksien heikkenemiseen. Saostumat ovat myös kasvu- alusta mikrobiologiselle kasvulle. /48/

Valmiissa päällysteessä lateksi on sulanut kalvoksi. Pulperoitessa paperikoneen lämpötilassa termoplastisuudesta johtuva pehmeneminen lisää kalvon sitkeyttä ja vaikeuttaa lateksin dispergoitumista pieniksi partikkeleiksi. Lateksien kuten monien muidenkin termoplastisten aineiden pehmenemislämpötila on 50–60°C /41/. Huonosta dispergoituvuudesta johtuen lateksin sitoutuminen paperirataan on heikkoa, jolloin tarttumisen riski kasvaa huopiin ja teloille. /48/

4.4. Neutraali/alkalinen prosessi

Neutraalia ja alkaalista prosessia on aiemmin käytetty pääasiassa hienopaperien valmistuksessa. Viime vuosina on kuitenkin vaihdettu yhä useampia puupitoisia lajeja valmistaneita paperikoneita neutraaliprosessiin. Neutraali/alkalinen prosessi perustuu yleensä kalsiumkarbonaatin käyttöön täyteaineena. PH on normaalisti 6 – 10. Kiinnostus neutraaliin paperinvalmistukseen johtuu kierrätysmassan lisääntymisestä käytöstä, karbonaatin halvemmasta hinnasta ja painatusominaisuuksien paranemisesta, paperin lujuuden kasvusta, paperin ikääntymisvaikutuksen vähenemisestä, jauhatuksen ja liimauksen helpottumisesta sekä korroosion vähenemisestä.

Alkalinen prosessi asettaa kuitenkin suuremmat vaatimukset märän pään toiminnalle /55/. Kuitujen turpoaminen lisääntyy alkalisessa ympäristössä, jolloin jauhatussessa irtoaa enemmän hemiselluloosia ja ligniinipohjaisia yhdisteitä. Ligniini-pohjaisten komponenttien liukeneminen kiihtyy pH 7:n yläpuolella /35, 42/. Liukenemiseen vaikuttaa myös aika ja lämpötila /35, 53/. Lisäksi kuitujen turvotessa enemmän massan vedenpoisto-ominaisuudet heikkenevät.



Kuva 16. Vasen kuvaaja: pH:n vaikutus hiokkeesta liukenevan orgaanisen aineksen määrään. Oikea kuvaaja: lämpötilan vaikutus hiokkeesta liukenevan orgaanisen aineen määrään sekä massan pH-tasoon. /56/

Alkalinen ympäristö on mikrobitoiminnan kannalta edullinen. Alkalinen prosessi on siten herkkä lämpötila- ja pH-muutoksille, jotka voivat nopeasti kiihdyttää liman muodostusta. Alkalisessa prosessissa mikrobien torjunta on erityisen tärkeää, etenkin puupitoisten paperien valmistuksessa. /35, 47, 53, 54, 55/

Ajettavuusongelmat ovat alkalisissa oloissa yleensä samankaltaisia kuin happamissa olosuhteissa, mutta tietyt vaikeudet saattavat korostua. Varsinkin hienoainetta ja täyteaineretentio sekä puristinosan telatartunta ovat osoittautuneet ongelmallisemmiksi kuin happamassa prosessissa. /35, 55/

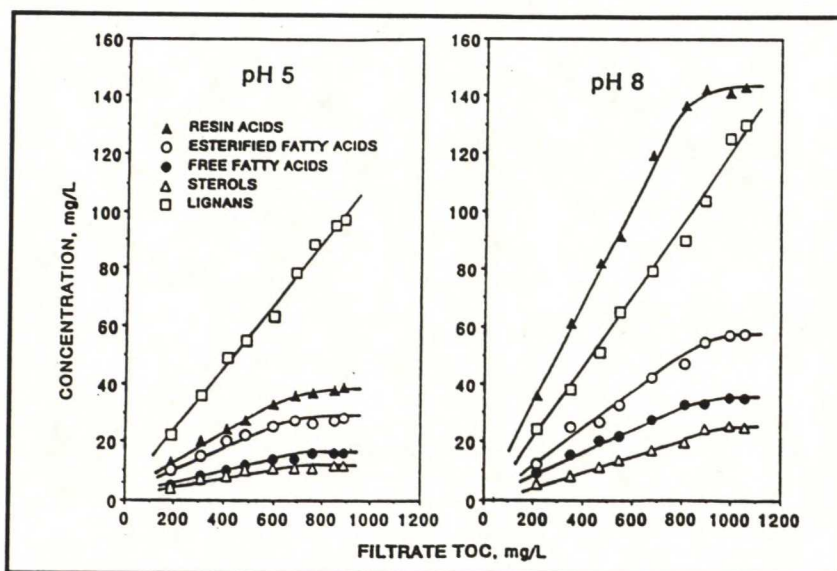
Hyvä retentio on välttämätön, koska varsinkin ASA-liimausta käytettäessä lyhyessä kierrossa kauan viipyvä liima hydrolysoituu tahmeaksi /47, 55/. Hydrolyysin seurauksena liima voi tarttua puristintelojen pintoihin ja aiheuttaa telatartuntaa /55/. Alunaa ei voi käyttää flokkaus- tai koaguloimistarkoitukseen alkalisessa ympäristössä, jolloin LK-aineiden eliminointiin joudutaan etsimään muita ratkaisuja. Ratkaisu voi olla esim. synteettisen polymeerin käyttö. Karbonaatti on täyteaineena kuluttavampaa kuin esim. kaoliini ja voi siten aiheuttaa myös mm. kaavariterän lisääntyvää kulumista.

Hyvä retentio parantaa vedenpoistoa, mikä nostaa rainan kuiva-ainetta ja vähentää rainan tarttumista telalle. Tästä syystä kuiva-aineen hallinta on keino, jota kannattaa ensin kokeilla alkaliprosessin tarttumisongelmissa. /35/

4.4.1. Mekaaninen massa

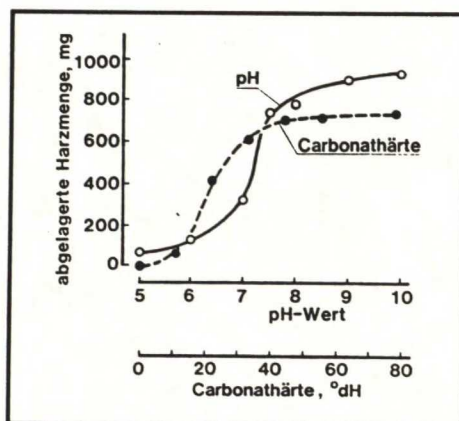
Kaikki hydrofobiset ainekset ovat potentiaalisia kasauman aiheuttajia. Kuitenkin myös hydrofiilinen aines voi aiheuttaa ongelmia. Hiokkeesta siirtyy veteen pH kahdeksassa yli kolminkertainen määrä anionisia kolloideja verrattuna pH viiteen. Näiden anionisten kolloidien on todettu häiritsevän retentiota. Tämän johdosta retentioaineen valinta, annostus ja annostuspaikka on valittava entistä huolellisemmin. /35/

Alkalisessa prosessissa pihkavaikeuksien todennäköisyys lisääntyy. Happamissa olosuhteissa uuteaineiden koostumus kiertovedessä vastaa puussa olevaa koostumusta /39/. Neutraalissa ja alkalisessa pH:ssa etenkin hartsihapot rikastuvat kiertoveteen, jolloin tasainen uuteainejakauma muuttuu /39/. Pihkavaikeuksien todennäköisyys on suurempi mekaanista massaa käytettäessä johtuen suuremmasta pihkapitoisuudesta. Alkalisen prosessin vaikutukset mekaaniseen massaan ovat osittain samankaltaiset peroksidivalkaisun kanssa, joka tapahtuu myös alkalisessa pH:ssa (pH 10,5–11,5). /35/



Kuva 17. *pH:n vaikutus orgaanisten komponenttien rikastumiseen. /57/*

Pihkan harts- ja rasvahapot neutraloituvat pH:n noustessa ja muuttuvat liukoiksi alkalisuoloiksi eli saippuoituvat esimerkiksi natriumin kanssa. Vaikealiukoisia saippuoita voi muodostua, jos kiertovesi sisältää paljon moniarvoisia kationeja, esim. kalsiumia ja kuparia. Nämä saippuat ovat tahmaavia ja tarttuvat moniin pintoihin. Saippuat saattavat vastaavasti liuottaa neutraalipihkaa pieninä pallosina veteen /35/. Kalsiumkarbonaatin läsnäollessa varsinkin erittäin tarttuvien rasvahappojen kalsium-suolojen saostuminen on todennäköistä /35, 51/. Weigl et al. /58/ mukaan kalsiumionien läsnäolo lisää pihkan agglomeraatiota ja aiheuttaa tahmeita saostumia. Jo melko alhainen kalsiumkovuus pH-alueella 6–7,5 voi lisätä huomattavasti saippuoituneen saostuvan pihkan määrää. /35/



Kuva 18. *pH:n ja kalsiumkovuuden vaikutus saippuoituneen ja saostuneen pihkan määrään /58/*

Jos pH laskee uudelleen prosessin jossakin kohdassa, alkalisaippuat hydrolysoituvat ja muodostavat vaikealiukoisia saostuvia happoja. Muodostuvat hapot eivät ole enää varautuneessa anionisessa tilassa. Luontaisen dispergoituvuuden puuttuessa hapoilla on taipumus muodostaa suurempia tahmeita agglomeraatteja. PH:n lasku happaman puolelle voi tapahtua kohdissa, joissa hapan kuitumassa (hientämöl-tä/hiomolta) sekoittuu kiertoveteen. Mekaanisen massan neutraloituminen on hidasta, mikä lisää nopean pH-muutoksen ongelmallisuutta. /35/

Weigl et al. /53, 54/ mukaan neutraalin ympäristön ongelmia voidaan vähentää ajotapamuutoksilla (kiertovesien erotus massanvalmistuksesta), pH-laskujen eliminoinnilla, ilma- ja kaasupitoisuuden alentamisella, lisäaineiden kriittisellä tarkastelulla (koostumus, määrä, annostuspaikka, järjestys), kuitu- ja täyteai-neretention optimoinnilla, erilaisten alumiiniyhdisteiden käytöllä (esim. polyalu-miinkloridilla), voimakkaasti kationisten lyhytketjuisten polymeerien käytöllä sekä epäorgaanisten adsorptioaineiden käytöllä (bentoniitti, talkki).

4.4.2. Kemiallinen massa

Alkalisen prosessin ongelmat kemiallisen massan suhteen ovat paljolti samoja kuin happaman prosessin vaikeudet. Alkalinen ympäristö kuitenkin lisää puusta liukenevien orgaanisten aineiden määrää, jolloin ongelmat voivat korostua entisestään. Etenkin uuteaineiden lisääntyvä liukeneminen voi aiheuttaa ajetta-vuusvaikeuksia.

Monet sellut ovat valkaisun loppuhapotuksen jäljiltä hyvin happamia, pH 2 – 4. Alkalisen prosessin kiertovesi neutraloi ne hitaasti laimennusvaiheessa. Reaktio on hidas ja perustuu diffuusioon kalsiumkarbonaatin avulla. Hitaasta neutraloitu-misesta johtuen karbonaatti voi hajota ja muodostaa kaasua. Myös liuennut pihka saattaa saostua kiertovedestä. Muodostuneet kaasukuplat voivat kerätä hydro-fobista pihkaa, jolloin agglomeraattien muodostumisvaara kasvaa. Seurauksena saattaa olla pihkavaikeuksia puristinosalla. Ongelmaa voidaan lievittää esineutra-loimalla massa ennen laimennusta. /35/

4.5. Siistausmassa

Siistausmassan lisääntyvä käyttö vaikeuttaa märän pään hallintaa. Kun keräyspaperi hajotetaan uudelleen vesiliuokseen, huomattava osa kuituihin sitoutuneesta aineksista vapautuu kiertoveteen. Irtoavat ja liukenevat ainekset voivat olla kuidun komponentteja, päällysteen komponentteja (lateksit, täyteaineet) prosessikemikaaleja (esim. tärkkelys), musteen partikkeleita tai siistausprosessin kemikaaleja.

Tehokkaan pesun ansiosta uusiomassan mukana ei tule paperikoneelle yleensä suuria määriä liuenneita ja kolloidisia aineksia /42/. Tämä edellyttää, että siistausprosessin kiertovedet puhdistetaan tehokkaasti esim. flokkauksella ja flotaatiolla. Siistausmassan mukana tulevat liima-ainekset voivat kuitenkin aiheuttaa vaikeita saostuma- ja tarttumisongelmia. Saostumat saattavat olla myös pihkaa, päällystys-latekseja, limaa, ym., mutta ei liimoja /59/. Saostumat voivat olla myös näiden kaikkien yhdistelmiä.

Siistausmassan mukanaan tuomat ainekset voidaan jaotella karkeasti seuraavalla tavalla /60/:

- * Synteettiset vaikealiukoiset orgaaniset komponentit, "tahmot" (lateksit, tarraliimat, kuumasulatteet)
- * Luonnolliset vaikealiukoiset orgaaniset komponentit, "tahmot" (uuteaineet, pihka)
- * Epäorgaaninen materiaali (mineraalipigmentit, liuenneet suolat)
- * Helppoliukoiset orgaaniset komponentit (ligniinipohjaiset aineet, hemisel-luloosat, tärkkelys)
- * Muut liukoiset komponentit (dispergointiaineet, vaahdonestoaineet, puh-distusaineet)
- * Liuenneet päällysteen komponentit (karboksimeetyyliselluloosa, polyfos-faatit, polyakrylaatit, silikaatit)
- * Siistauskemikaalit (natriumhydroksidi, natriumsilikaatti, natriumkarbo-naatti, natrium, fosforijohdannaiset, pinta-aktiiviset aineet, liuottimet, saippuat, peroksidi, natriumhydrosulfidi)

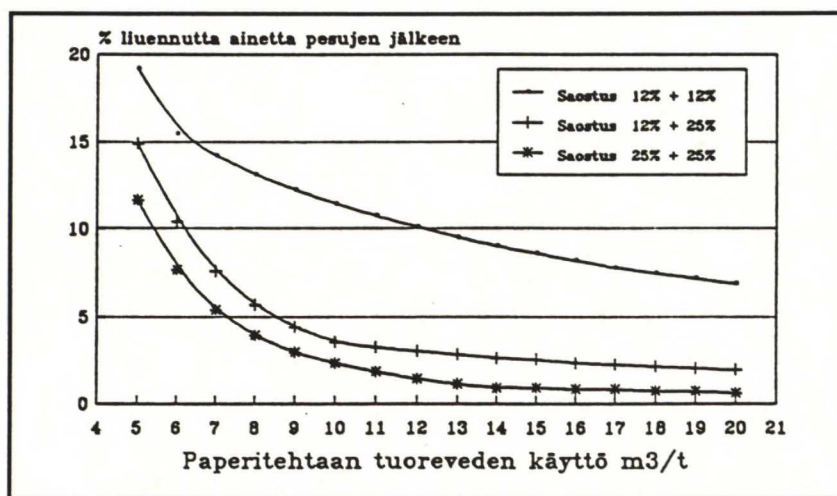
Kaikki aineet eivät välttämättä esiinny prosessissa, ja esiintyessään eivät välttämättä aiheuta ongelmia. Esiintyvät aineet ja ongelmat ovat prosessikohtaisia, riippuen raaka-aineesta, prosessista ja siistausmassan osuudesta. Siistausmassan mukana tuleva ja jauhatuksessa irtoava hienoaines on vaikeammin retentoituvaa kuin primäärikuidun hienoaines. Lisäksi siistausprosessiin syötettävän keräyspaperin laadun vaihtelu voi aiheuttaa muutoksia hienoaineen ja LK-aineiden määrissä /59/. Tästä syystä myös siistausmassan käyttö vaatii hyvän retention hallinnan.

Siistausmassan mukana kulkeutuu yleensä myös karbonaattipitoista massaa. CaCO_3 -pigmentin osuus on kasvanut keräyspaperissa viime vuosina /59/. Varsinkin happamassa prosessissa CaCO_3 hajoaa liukoisuustulon muuttuessa Ca^{2+} :ksi H_2O :ksi ja CO_2 :ksi, jolloin kalsiumia liukenee veteen. Veteen liukeneva kalsium voi reagoida uuteaineiden kanssa muodostaen tahmaavia agglomeraatteja (vrt. kappale 5.4.1.).

Neutraalissa paperinvalmistuksessa täyteaineena käytettävä CaCO_3 voi kulkeutua paperikoneen kiertoveden mukana siistaamolle, jossa kiertovettä käytetään täydennysvetenä. Siistausmassan vaaleus säädetään tavallisesti peroksidivalkaisulla oikealle tasolle. Tällöin peroksidivalkaisun loppuhapotuksessa karbonaatti reagoi rikkihapon kanssa muodostaen kalsiumsulfaattia eli kipsiä ja hiilidioksidia. Poistuva hiilidioksidi aiheuttaa vaahtoamista ja kalsiumsulfaatti saostuu massan sekaan. Saostuneesta kipsistä liukenee paperikoneen massankäsittelyssä noin 6 % aiheuttaen muutoksia märän pään tilassa. /52/

Siistausmassan peroksidivalkaisusta kulkeutuu paperikoneelle myös valkaisukemikaalien jäämiä ja reaktiotuotteita. Jos loppuhapotus tehdään rikkihapolla, jäännösperoksidi kulkeutuu koneelle. Rikkivedellä suoritettussa loppuhapotuksessa jäännösperoksidi hajoaa. Molempien kemikaalien neutralointireaktioissa muodostuu useita eri ioniyhdisteitä, jotka jäävät massan joukkoon ja kulkeutuvat koneelle. /52/

Siistaamon ja paperikoneen välisillä vesikiertoilla voidaan vaikuttaa massankäsittelyn olosuhteisiin ja liuenneiden aineiden määrään. Massan mukana tulevan veden määrää voidaan pienentää, kun paperikoneen ylimääräinen kiertovesi käytetään siistaamolla vastavirtapesuun ja saostetaan siistausmassa mahdollisimman korkeaan kuiva-ainepitoisuuteen. Samalla pienenee paperikoneelle tulevan liuenneen aineen määrä. Esimerkiksi 4 % sakeudessa oleva massa sisältää 24 m^3 vettä tonnissa kuivaa massaa. Jos massa saostetaan 25 %:iin ja laimennetaan paperitehtaan kiertovedellä, on siistaamosta tuleva vesimäärä vain 3 m^3 kuivaa massatonna kohti. Jos massa saostetaan kaksi kertaa 25 % sakeuteen, siistaamolta kulkeutuu liuenneita aineita vain 1 % koko määrästä. Samaa periaatetta voidaan käyttää hiomon tai hiertämön vesisysteemin erotuksessa. /52/



Kuva 19. Siistaamon liuenneiden aineiden määrä paperikoneella erilaisilla pesuvaihtoehdoilla. /52/

4.6. Prosessin hallittavuuden parantaminen

Paperikoneiden ajonopeuksien voimakas nousu ja kohonneet laatuvaatimukset ovat aiheuttaneet turbulenssin ja leikkausvoimien lisääntymistä eri prosessivaiheissa. Samanaikaisesti prosessissa käytettävien kemikaalien lukumäärä on kasvanut. Lisäksi kiertovesijärjestelmien sulkemisasteen nostaminen on kohottanut kiertovedessä olevien aineiden konsentraatioita ja kiertoveden lämpötilaa. Nämä kaikki tekijät ovat lisänneet erilaisten saostumien muodostumisriskiä.

Edellämainituista seikoista johtuen eri kemikaalien annostelussa tulee olla huolellinen, jotta liukoisuustasapainoa ei muutettaisi. Kemikaalien valinnassa tulee huomioida entistä huolellisemmin myös haitalliset sivureaktiot ja mahdolliset jäännöskemikaalit tai tehottomat komponentit. Vaikka ongelma tiedostetaan kohtuullisen hyvin, ei käytännön paperivalmistuksessa kuitenkaan yleensä noudateta riittävää varovaisuutta. Hyvin yleinen asenne on annostella "varmuuden vuoksi" hiukan yli tarpeen, jolloin toisen ongelman korjaamisesta seuraa uusi ongelma. Esimerkiksi vaahdonestoaineen annostelu on edelleen melko sattumanvaraista, vaikka vaahdonestoaineen öljykomponenttien tiedetään muodostavan vaikealiukoisia sakkoja.

PH:n tasaisuuteen tulee kiinnittää erityistä huomiota, koska lähes kaikki märän pään ilmiöt ovat riippuvaisia pH:sta. Tästä syystä pH:n muutos voi aiheuttaa tasapainotilan muutoksia, jolloin liukenemista tai saostumista tapahtuu. Reaktion tapahtumapaikalla ei ole kovin suurta merkitystä, koska reaktiotuotteet päätyvät yleensä viimeiseksi perälaatikon kautta viiraosalle, elleivät ole jo aiemmin tarttuneet paperikoneen pinnoille. Tästä syystä mm. pH-vaikutteisten kemikaalien (esim. NaOH) annostelussa tulee olla erityisen varovaisia, jotta äkkinäisiltä muutoksilta välttytään. PH-säädöt olisi hyödyllistä rakentaa riittävän aikaiseen vaiheeseen prosessia, jotta tulevista raaka-aineista aiheutuva pH-vaihtelu eliminoiduu riittävän ajoissa. Tällöin ei välttämättä tarvita enää perälaatikon pH-säätöä, koska koko prosessi stabiloituu häiriölähteiden eliminoiduessa ennen lyhyttä kiertoa.

5. MÄRKÄOSAN SEURANTA

Märkäosan monimutkaisuudesta johtuen ei ole yksiselitteisiä parametreja, jotka kuvaavat märkäosan toimintaa. Tästä syystä on kerättävä useita muuttujia, joita keskenään vertailemalla on pyrittävä löytämään vuorovaikutussuhteet. Sama ongelma koskee myös irrotustyötä ja sen muutoksia.

Vesikierron suuresta tilavuudesta johtuen eri tasapainojen asettuminen kestää kauan (jopa viikkoja). Seurantajakson pituuden tulee olla riittävä, jotta saatavan tiedon luotettavuus paranee. Sopiva seuranta-aika saattaisi olla kuukausi tai useampia kuukausia. Mahdollisimman pitkä vertailujakso parantaa mahdollisten kokeiden luotettavuuden arviointia.

Koejakson aikana seurattavia prosessimuuttujia voisivat olla:

- | | |
|--|---|
| * laji, neliömassa | * ajonopeus |
| * vetoero | * kuidunpituus (freeness) |
| * massasuhteet, hyllyn määrä (sakeus) | * tuhka- ja kokonaisretentio |
| * retentioaineen annostelu | * vaahdonestoaineen annostelu |
| * irrotuskulma (jos mahdollinen) | * alunan annostelu/-paikka |
| * vedenpoisto (kuiva-ainepitoisuus), jos mahdollista | * perälaatikkomassan lämpötila, pH, johtokyky |
| * perälaatikkomassan ja viiraveden sameus, varaus ja COD | * nukkaautuminen/kaavarin keräämä materiaali |

Vetoero on irrotustyön kannalta perusmuuttuja, jota säädetään kokemusperäisesti halutun suuruiseksi. Se kuvaa kuitenkin myös irrotustyön suuruutta. Irrotuskulman tai irrotuskohdan mahdollinen mittaaminen antaisi hyödyllistä lisäinformaatiota adheesion voimakkuudesta. Ajonopeus voi yhdessä muiden tekijöiden, kuten esim. vetoeron kanssa osoittaa dynaamisen tekijän vaikutuksia irrotukseen.

Laji, neliömassa, massasuhteet sekä hylyn määrä ovat perustietoa rainan ominaisuuksista. Ne kuvaavat paperin lujuustasoja irrotuksen kannalta sekä pitkä/lyhytkuituosuuksia. Ne vaikuttavat radan venymän ja lujuuden kautta vetoeroon.

Retentio on märän pään toiminnan kannalta keskeinen muuttuja, joka vaikuttaa prosessin stabiilisuuteen sekä mm. rainan kuiva-ainepitoisuuteen ennen puristinosaa. Retentioaineen annostelu liittyy retentioon ja sen hallintaan. Lisäksi joissakin retentioaineissa on pinta-aktiivisia aineita, ns. aktivaattoreita, jotka vaikuttavat vedenpoistoon.

Vaahdonestoaineen annostelun seuranta perustuu sen vaikutuksiin pintajännitykseen ja vedenpoistoon. Kuiva-ainepitoisuuden seurantaan ei ole viiraosalla mittalaitteita. Kuiva-ainepitoisuutta voisi yrittää seurata välillisesti esim. tulevien ja poistuvien vesimäärien erotuksena ns. laskennallisena kuiva-aineena esim. puristinosalla. Myös kuivatushöyryn kulutusta voidaan käyttää kuiva-ainemittarina.

Sameus- ja varaustilamittaukset kuvaavat kiertovedessä olevien liuenneiden ja kolloidisten sekä pienten kiinteiden partikkelien määrää ja sähkökemiallista tilaa. Samalla ne kuvaavat retentiota hienoimman aineksen suhteen. Prosessihäiriöt ilmenevät usein sameus- ja varaustilamittauksessa sameuden ja varaustilan kasvuna. COD-mittaus (kemiallinen hapenkulutus) kuvaa orgaanisten LK-aineiden kokonaismäärän vaihtelua /51/. Ongelmana on tulkinnan vaikeus, koska myös eri prosessikemikaalit voivat aiheuttavat COD-pitoisuuden muutoksia.

Alunan annostelu vaikuttaa sekä retentioon, että systeemin sähkökemialliseen tilaan. Alunan annostelun seurannalla voidaan karsia alunan vaikutuksia muihin muuttujiin, esim. johtokykyyn.

Perälaatikon lämpötila vaikuttaa vedenpoistoon ja siten kuiva-ainepitoisuuteen. pH voi vaikuttaa irrotukseen ja häiriötilanteiden syntyyn. Johtokykyä voidaan seurata varsin luotettavasti on-line-tietona. Johtokyky kuvaa liuenneiden ionien

kokonaismäärää. Varsinkin käyntiinlähtötilanteessa johtokykymittausta voidaan käyttää prosessin tasoittumisen seurantaan. Lisäksi johtokykymittauksella voidaan seurata häiriöiden leviämistä prosessissa, esimerkiksi valkaisun vaikutuksia.

Seurannan ongelmana on on-line-mittausten puute eräistä muuttujista. Näitä ovat mm. kiertoveden tilaa kuvaavat sameus- ja varaustilamittaukset sekä COD-mittaus. Sameustilaa ja COD-pitoisuutta mittaavia kohtuullisen luotettavia antureita on jo tarjolla, mutta niiden käyttö on vielä vähäistä. Myös varaustilaa seuraavia on-line-mittareita on jo tarjolla, mutta niitä ei ole vielä jatkuvassa käytössä. Vähäiseen käyttöön on syynä mittalaitteiden tarvitsema ylläpito, joka ei tehtaiden näkemyksen mukaan ole ollut vielä riittävän vaivatonta. Tässä suhteessa on kuitenkin tapahtunut kehitystä viime vuosina. Lisäksi laitteiden hinnat ovat suhteellisen korkeita. Useat tehtaat seuraavat jo 1 – 3 kertaa vuorokaudessa laboratoriomittauksin sameus- ja varaustilan muutoksia. Laboratoriomittaukset antavat tosin vain yksittäisen arvon, mutta sitä voidaan pitää karkeana yleiskuvana prosessin tilasta. Lyhytaikaisia häiriöitä ei laboratoriomittauksella voi havaita.

III KOKEELLINEN OSA

6. KÄYTÄNNÖN KOKEMUKSET JA HAVAINNOT

Radan irrotukseen vaikuttavia keskeisimpiä tekijöitä kartoitettiin haastattelemalla painopapereita valmistavien paperikoneiden henkilöstöä. Haastateltavat henkilöt olivat pääosin koulutukseltaan insinöörejä tai teknikoita. Osassa kohteista haastateltiin myös joitakin koneen käyttöhenkilöstöön kuuluneita ihmisiä. Haastatteluissa kerättiin kokemusperäistä tietoa, jota ei ole suurelta osalta systemaattisesti tutkittu. Saatu aineisto on osin haastateltavan omia vaikutelmia sekä käytännössä havaittuja riippuvuuksia.

Tutkimuksessa oli mukana 11 eri paperikonetta, joista kolme oli sanomalehtikoneita, kaksi SC-koneita, kolme LWC-koneita ja kolme hienopaperikoneita. Yhdeksässä koneessa oli keraaminen Valrok-tela joko keskitelana (Sym-Press II), Twinver-puristimessa keskitelana/kolmannen nipin ylätelana tai neljännen puristimen ylätelana (Sym-Press II). Lisäksi yhdessä koneessa oli Valrokia vastaava keraaminen keskitela ja yhdessä koneessa oli polymeeripinnoite keskitelassa. Haastatteluista saadut tulokset on yhdistetty siten, että tiedon alkuperä säilyy luottamuksellisena.

6.1. Haastattelututkimus

6.1.1. Perustiedot

Haastatteluun osallistuneiden koneiden massakoostumukset olivat:

SC: 23 – 35 % Sellu	LWC: 20 – 50 % Sellu
65 – 77 % TMP tai hioke	50 – 80 % Hioke tai PGW
5 – 35 % Hylky tuoremassasta	30 – 40 % Hylky tuoremassasta
26 – 32 % Kaoliini	6 – 15 % Kaoliini, talkki, CaCO ₃ , Pähä

Hienopaperi:

50 – 80 % Koivusellua, eukalyptusta

30 – 50 % Mäntysellu

20 – 60 % Hylky tuoremassasta

15 – 26 % Karbonaatti, PCC, Silikaatti 0 – 18 % Sellu

Sanomalehtipaperi:

27 – 70 % TMP

0/40 – 60 % PGW

0 – 15/30 – 83 % DIP

5 – 35 % Hylky tuoremassasta

0 – 5 % Tuhka (DIP:stä, C-kaoliini)

Vuodenaikojen vaihtelua ei enää nykyään havaitse massojen laadun muutoksina. Pihkapitoisuuden muutokset hallitaan kiinnittimien annostelulla sekä raaka-aineen tuoreusvaihtelun tasaamisella eli käytetään mahdollisimman tuoretta puuta (vaaleustavoite). Toisaalta tuoreen puun pihkapitoisuus on korkeampi. Osassa kohteista vuodenaikojen vaihtelu näkyy raakaveden humuspitoisuuden muutoksina. Humuspitoisuuden muutokset aiheuttavat väriongelmiä sekä ajettavuusvaikeuksia (mm. likaongelmia).

6.1.2. Massan jauhatusaste

Kaikilla paperilajeilla freeneksen lasku aiheuttaa irrotuksen vaikeutumista. Syyksi epäillään enimmäkseen muutoksia kuiva-ainepitoisuudessa. Muita muutoksia aiheuttavia tekijöitä ovat sellun vaihto ajon aikana toisen valmistajan selluun (lujuuseroja, jauhautuvuuseroja), klooriton sellu (pihkaa, jauhautuvuuden muutos), peroksidivalkaisu (vedenpoiston vaikeutuminen, pihkaongelmat, lika) sekä putkimassan vaihtuminen paalimassaksi tai päinvastoin (vedenpoiston ja jauhautuvuuden muutos). Ristiriitaisia kokemuksia on kloorittomasta sellusta (hienopaperit) sekä peroksidivalkaisusta (massan pesun edut), koska on myös näkemyksiä, joiden mukaan nämä parantavat ajettavuutta. Sellunvalmistajien välillä on eroja massan lujuudessa ja jauhautuvuudessa, jotka vaikuttavat selvästi myös vetoeroihin.

Haastattelukohteiden massojen freeness-tasot:

SC: Sellu 450 – 500 CSF LWC: Sellu 500 – 650 CSF

TMP/hioke 35 – 40 CSF PGW/hioke 40 – 75 CSF

Hienopaperi:

Koivu n. 550 CSF

Mänty n. 500 CSF

Sanomalehtipaperi:

TMP 80 – 150 CSF DIP 100 – 150 CSF

PGW 80 – 100 CSF Sellu 500 – 550 CSF

SC-lajeilla hiokkeen ja hierteen kriittinen freeness-taso on molemmilla haastatte-
luun osallistuneella koneella noin 30. Tässä freenesstasossa ajettavuus vaikeutuu.
Syyksi epäillään kosteuden nousua. Massan freeneksen lasku kasvattaa kaikissa
kohteissa vetoeroa. Eräissä kohteissa freeneksen muutoksen uskotaan vaikuttavan
myös jäykkyyteen ja siten rainan kykyyn mukautua telan pinnan karheuteen (ad-
heesiopinnan lisääntyminen/pienentyminen). Tästä syystä massan jäykkyys ja
karkeus yhdessä telan pinnankarheuden kanssa voivat vaikuttaa vetoeroon. Myös
radan venymä muuttuu massan freeneksen ja kuiva-ainepitoisuuden muuttuessa.
Käytännössä on vaikea erottaa kuiva-ainepitoisuuden muutosten ja lisääntyvän
adheesiopinnan sekä radan venymän muutoksen vaikutuksia toisistaan.

6.1.3. Kuiva-ainepitoisuus

Vain yhdessä kohteessa on tutkittu huolellisemmin puristinosan jälkeisen kuiva-
ainepitoisuuden vaihtelua eri neliömassojen välillä. Mittausten perusteella kuiva-
ainepitoisuus on kyseisellä koneella korkeampi suuremmilla neliömassoilla. Tämä
johtuu suuremmasta täyteainepitoisuudesta sekä alemmasta jauhatusteesta.

Kuiva-ainepitoisuuden vaihtelua ei osata yleisesti erottaa muista muuttujista.
Kuiva-ainepitoisuuden uskotaan kuitenkin vaihtelevan merkittävästi. Kuiva-
ainepitoisuuden muutoksia aiheuttavat huopien kunnon muutokset, freeneksen
muutokset, täyteainepitoisuuden muutokset, retentiotason muutokset, nopeuden
muutokset, neliömassavaihtelu sekä imutelojen alipainemuutokset.

Puristinosan jälkeen suoritettut kuiva-ainemittaukset ovat olleet pistokoeluonteisia.
Niiden perusteella kuiva-ainepitoisuus vaihtelee haastattelukohteissa 40 – 51 %
välillä. Osa haastateltavista ei ole huomionnut kuiva-aineen vaikutusta radan
jännitys-venymäominaisuuksiin. Jännitys-venymäominaisuudet vaikuttavat

irrotukseen tarvittavan jännityksen säilymiseen rainassa. Jännitys-venymäominaisuudet riippuvat lisäksi myös kuitupituudesta sekä radan rakenteesta. Radan venymävaihtelu vaikuttaa tarvittavaan vetoerotasoon, ja tästä syystä pelkkä vetoero ei kuvaa hyvin irrotustyön muutoksia.

6.1.4. Ajonopeus

Haastattelussa mukana olleiden koneiden ajonopeus oli haastatteluhetkellä 500 – 1530 m/min. Ajonopeuden vaikutusten uskotaan olevan lähinnä kuiva-ainepitoisuuden muutoksia. Pääosa haastateltavista ei osannut sanoa nopeuden merkitystä vetoeron suhteen.

Eräissä kohteissa nopeuden nousun on havaittu kasvattavan prosentteina ilmaistavaa vetoeroa. Tähän saattaa vaikuttaa osittain radan suunnanmuutokseen tarvittavan momentin kasvu. Neliömassan kasvun on havaittu laskevan vetoeroa, kun nopeus on vakio. Tämän saattaa johtua keskipakovoiman kasvamisesta sekä rainan suuremmasta lujuudesta suhteessa venymään. Viskoottisten tekijöiden ja jäykkyyden vaikutusta ei pystytty määrittämään, mutta niilläkin saattaa olla merkitystä rainan käyttäytymiseen nykyisissä ajonopeuksissa.

6.1.5. Orientaatio

Valmistettavan paperin vetolujuussuhde vaihtelee haastattelukohteissa 2,3 – 3,8 välillä. Osa haastateltavista ei osaa sanoa orientaation vaikutuksia irrotukseen. Eräät haastateltavat uskovat orientoitumisen pienentävän vetoeroa paperin konesuuntaisen lujuuden kasvaessa. Eräällä haastateltavalla on kokemuksia, joiden mukaan orientoituminen vähentää reunarynkkyä sekä laskee vetoeroa. Eräässä kohteessa orientaatiota on muutettu lisäämällä perän painetta, mutta se ei ole vaikuttanut vetoeroon. Ainoastaan paperin formaatio heikentyi. Tämä tulos on osittain ristiriitainen muiden kokemusten kanssa. Kerättyjen arvojen perusteella vetolujuussuhteen kasvu eli orientaation lisäys pienentää koneen vetoeroa. Tämä perustuu radan konesuuntaisen lujuuden kasvuun.

6.1.6. Vetoero

Vetoero oli kaikki tehtaast huomioiden pienimmillään 1,2% ja suurimmillaan 4,2%. Kaksi kolmasosaa kohteista tallentaa vetoeron säännöllisesti, mutta tallennetun tiedon avulla ei ole saatu selville selkeitä syitä vetoeron muutoksiin. Eräs haastattava on havainnut huopien kunnon korreloivan vetoeron kanssa. Kohteet, joissa vetoeroa ei seurata, eivät koe vetoeron suuruutta ongelmaksi. Kuiva-ainepitoisuuden muutosten uskotaan olevan pääosin syynä vetoeron vaihteluun. Eräissä kohteissa on havaittu telan karheuden muutosten vaikuttavan vetoeroon. Myös kemiallisen tilan muutosten epäillään aiheuttavan omalta osaltaan vaihtelua vetoerossa. Eräällä SC-koneella katkojen määrän on havaittu olevan selvästi riippuva vetoeron suuruudesta, eli paperin venymäpotentiaalin säilymisestä.

6.1.7. Irrotuskohta ja irrotuskulma

Irrotuskulma ja irrotuskohta ovat lähes vakiot kaikilla koneilla. Koneenhoitajien välillä ei ole merkittäviä eroja. Rynkyn muodostumisesta ja lepatuksesta johtuen irrotuskohtaa ei voi merkittävästi vaihdella. Useissa kohteissa tila on irrotuksen kannalta myös erittäin ahdas ja avoin väli lyhyt.

Irrotusrajan laskiessa alemmaksi ja irrotuskulman samalla suurentuessa kuitujen nyppimistaipumus eräiden kokemusten mukaan lisääntyy. Tämä ilmenee kaavarille kertyvän kuitu- ja täyteainemäärän lisääntymisenä.

6.1.8. Nippipaineet

Nippipaineet vaihtelevat haastattelukohteissa seuraavasti: 1) 50–80, 2) 66–90, 3) 89–135, 4) 120–145 kN/m. Nippipaineet ovat kaikissa kohteissa lähes vakiot. Nippipaineiden ei ole havaittu vaikuttavan irrotukseen muuten kuin kuiva-ainepitoisuuden muutosten kautta. Tässä suhteessa niiden vaikutus on kuitenkin nykyisillä vaihteluväleillä lähes merkityksetön. Kahdessa tehtaassa on havaittu, että 4. puristimen paineen nosto yli 130 kN/m ei lisää enää kuiva-ainepitoisuutta.

Eräissä kohteissa on havaittu, että ensimmäisen nipin paine voidaan pitää alhaisena ilman kuiva-aineen merkittävää heikkenemistä (sanomalehtipaperi). Toisaalta kolmannessa nipissä korkea paine on tällä koneella hyödyksi.

6.1.9. Telamateriaalit

Haastateltavilla henkilöillä oli kokemuksia graniittitelasta sekä Valrokista. Eräissä kohteissa kokemuksia oli myös Dynarokista, Centerokista, Top-Rockista, Green Granite:sta ja Unirockista. Kokemusten perusteella Valrok toimii vähintään yhtä hyvin verrattuna muihin teloihin, jos pinnankarheus on oikea. Kulutuksenkestoltaan se on muihin verrattuna normaalikäytössä paras. Keraamitelalla deformatumista ei ole havaittu. Polymeeri- ja epoksinnoitteilla voidaan käyttää teräskaavaria. Kaavarointi on nykykokemuksen perusteella helpompaa komposiittipinnoitteita käytettäessä. Haastateltavat tietävät komposiittipinnoitteiden käyttöön liittyvän kaavarin "haukkaamisvaaran". Pihkan ja muun tahmaavan materiaalin tarttuvuus näyttäisi haastattelun perusteella olevan voimakkaampaa komposiittipinnoitteille kuin keraamipinnoitteille. Polymeeripinnoitteet ovat haastattelujen perusteella herkempiä myös pH-muutoksille.

Kokemusten perusteella telan pinnankarheus on erittäin ratkaiseva tekijä vetoeron kannalta, jos paperilajikohtainen optimialue on ylitetty. Tulosten perusteella massan jäykkyys ja hienous vaikuttavat ilmeisesti radan mukautumiseen telan pinnan myötäisesti, jolloin karheudelle löytyy karkea ylä- ja alaraja riippuen paperilajista. Optimi R_a näyttää olevan keraamipinnoitteille 0,6–1,5.

6.1.10. Kaavarointi

Kaavarointi on haastattelun perusteella keskeisimpiä tekijöitä telan toiminnan ja ajettavuuden kannalta. Lähes kaikissa kohteissa on kaksoiskaavari. Ensimmäisenä teränä käytetään Valrokilla pääosin hiilikuituteriä. Toisena teränä on yleensä epoksiterä. Eräissä kohteissa joudutaan käyttämään ajoittain myös teräskaavaria telan pinnan puhdistukseen muusta terämateriaalista sekä liasta. Keraamitelojen

ongelmana on tällä hetkellä kaavarimateriaalin ja massaperäisten aineiden muodostama kalvo telan pinnassa.

Terien kuluminen on selvästi nopeinta nopeilla SC-koneilla, joissa kuluminen on pääasiallinen vaihtosyy. Hitaammilla vähemmän täyteainetta sisältävillä koneilla kaavarin pito-ongelmista johtuvat teränvaihdot ovat yleisempiä. Kaavarien käyttöajat vaihtelevat 1,5 vuorokaudesta 16 vuorokauteen. Samassa kohteessa terien kuluminen saattaa olla epätasaista tietyllä aikavälillä. Tähän ei ole selvää syytä.

Kaavarin terän paksuuden vaikutusta on kokeiltu eräissä kohteissa. Hiilikuituteriä käytettäessä kaavarointitulokseen ja kaavarin kulumiseen saattaa vaikuttaa teräpaksuuden vaihto 1,5 ja 1,9 mm välillä. Yleisesti tarkastellen paksuuden vaikutusta on tutkittu liian vähän varmojen johtopäätösten tekemiseksi.

Kaavarin paineella ei ole ratkaisevaa merkitystä kaavarointitulokseen, joten lähes kaikissa kohteissa paineet ovat asetusarvoissa. Paineen lisäys saattaa joissakin tilanteissa kuitenkin parantaa kaavarin pitoa.

6.1.11. Voitelusuihkut

Telan voiteluvedet ovat puhdistettua raakavettä. Suihkuveden määrä vaikuttaa kaavarin kulumiseen, etenkin jos vesi jakautuu telan pinnalle epätasaisesti. Tällöin kaavarissa saattaa esiintyä aallottaista kulumista. Veden määrä vaikuttaa myös kaavarin läpäisyyn. Erään kokeen perusteella suihkuveden määrä saattaa vaikuttaa 0,5 % puristinosan jälkeiseen kuiva-ainepitoisuuteen. Kosteaa telan pintaa lisää myös radan adheesiota. Veden määrää ei voi paljon muuttaa roiskeongelmien johdosta. Kaikissa kohteissa käytetään eri tavoin lämmitettyä vettä, mutta lämpötilaa tai pH:ta ei yleensä seurata aktiivisesti. Niiden uskotaan olevan kuitenkin hyvin tasaisia.

Haastattelun perusteella suihkuputken sijoitus ja vesimäärä vaikuttavat selkeästi kaavarin kulumiseen. Useat haastateltavat totesivat suihkuputken olevan tällä hetkellä huonosti sijoitettu.

Puhdistus-/suojakemikaaleja käytetään useissa kohteissa suihkuveteen sekoitettuna, mutta lähes kaikki haastateltavat sanoivat olevansa epävarmoja kemikaalin hyödyistä. Vain kolmessa kohteessa kemikaali on jätetty kokeiden perusteella hyödyttömänä pois. Siistausmassaa suurempia määriä käyttävillä mukana olleilla sanomalehtikoneilla suihkukemikaali on vastaavasti osoittautunut välttämättömäksi telan likaantumisen hallitsemiseksi. Likaantuminen on ollut voimakkainta polymeripinnoitteilla.

6.1.12. Puristihuovat

Puristihuopien kunnon heikkeneminen näkyy haastattelun perusteella ensimmäisenä päänniennin ja levityksen ongelmina. Huovat poistavat huonommin vettä uutena sekä kuluneina, joten puristihuopien kunto voi vaikuttaa kosteuden kautta huomattavasti vetoeroihin ja sen muutoksiin. Erityisesti pick-up-huovan merkitys on suuri. Eräässä kohteessa huopien kunnon on havaittu korreloivan hyvin vetoeron kanssa. Huopiin saattaa muodostua poikkisuuntaisia kosteuseroja, jotka aiheuttavat epätasaisen kosteusprofiilin rataa. Epätasainen kosteusprofiili voi nostaa vetoeroa. Puristihuovat vaikuttavat myös puristinosan tärinäihin ja niiden hallintaan.

6.1.13. Höyrylaatikko

Höyrylaatikosta saadut myönteiset kokemukset ovat osittain ristiriitaisia, koska eräissä kohteissa höyrylaatikkoon kertyvän kosteuden ja kuitujen epäillään tippuvan rataa ja aiheuttavan katkoja. Tästä syystä höyrylaatikkoa ei käytetä kyseisissä kohteissa jatkuvasti. Osalla koneista höyrylaatikko on jatkuvasti käytössä, ja sen uskotaan helpottavan irrotusta. Höyrylaatikko on useissa kohteissa tärkeä profiloinnin ja ajettavuuden parantamisen kannalta. Höyrylaatikko nostaa

kuiva-ainepitoisuutta noin 2 % riippuen höyryn määrästä (normaalisti 1,5–4 t/h).

6.1.14. Perälaatikon lämpötila

Perälaatikon lämpötila vaihtelee 35 – 58°C välillä. Lähes kaikissa kohteissa on massojen ja/tai viiraveden lämmitys käyntiinlähdön helpottamiseksi. Tämän johdosta käyntiinlähtöjä ei koeta erityisen ongelmallisiksi. Päänvienti on käyntiinlähdössä kuitenkin lähes joka kohteessa vaikeampaa. Syyksi epäillään alemman lämpötilan aiheuttamaa huonompaa vedenpoistoa. Varsinaiseen vetoeroon lämpötilan ei ole huomattu nykyisellä tasaisen ajon vaihteluvälillä vaikuttavan merkittävästi.

6.1.15. Perälaatikon pH

Perälaatikon pH vaihtelee eri kohteissa 4,5 – 8,0 välillä. PH:n nousun uskotaan lisäävän rainan adheesiota telan pintaan muutostilanteen aikana. PH-tasolla ei ole haastattelun perusteella ratkaisevaa vaikutusta irrotukseen. PH vaikuttaa kalsiumin liukoisuuteen, ja pH:n noston uskotaan helpottavan kalsiumin aiheuttamia ongelmia siistausmassaa käyttävillä koneilla.

Eräällä LWC-koneella prosessin muutos happamasta neutraaliksi on helpottanut puristinosan ajettavuutta ja radan irrotusta. Prosessi on ollut stabiilimpi.

6.1.16. Retentio

Haastattelukohteiden retentiotasot:

SC:	39 – 55 %	Tuhkaretentio 22 – 28 %
LWC:	50 – 70 %	Tuhkaretentio 30 – 45 %
Hienopaperi:	68 – 85 %	Tuhkaretentio 30 – 40 %.
Sanomalehtipaperi:	52 – 70 %	Tuhkaretentio 20 – 30 %

SC-koneista toisessa kohteessa retention uskotaan olevan liian alhainen (n. 42 %), kun taas toisessa kohteessa uskotaan optimaalisen tason olevan n. 45 – 50 %. Retentio ei ole ongelma LWC-koneilla, ja retentiota ei seurata intensiivisesti. Eräissä kohteissa retentioaineen annostelun hetkellinen vähentäminen helpottaa päänvientiä. Retentiotasosta on kahdentyypisiä mielipiteitä: puolletaan mahdollisimman korkeaa retentiotasoa ja toisaalta hieman alempaa retentiotasoa. Retention tasosta saatuihin kokemuksiin saattaa vaikuttaa se, kuinka lujasti täyteaine ja hienoaine ovat sitoutuneet rainaan. Jos sitoutuminen on löyhää (lähinnä mekaanista), puristinosalla saattaa esiintyä likaongelmia. Lisäksi tarkastelussa vaikuttaa aikaskaala. Prosessin läpimenoaika saattaa olla neljästä vuorokaudesta kahteen viikkoon, jonka jälkeen uusi retentiotasapaino muodostuu (vrt. kiertovesijärjestelmän puhtaus). Vasta tällöin retentiotason todellinen vaikutus on havaittavissa.

Retention säätöön käytetään kationista polyakryyliamidia, polyetyleeni-iminiä, BMA:ta ja kat. PAM:ia + bentoniittia. Yksikomponenttiset kationiset retentioaineet ovat yleisiä puupitoisilla papereilla ja kaksi tai kolmikomponenttiset retentiosysteemit hienopapereilla.

Erilaiset kationiset kiinnittimet ovat melko yleisiä erityisesti mekaanisen massan liuenneen aineen eliminoinnissa. Koneiden ajettavuus on parantunut kiinnittimen käytöllä ja esimerkiksi entiset peroksidivalkaisun yhteydessä esiintyneet ongelmat ovat vähäisempiä kiinnitintä käytettäessä.

Rainaimen vaikutuksia ei ole havaittu selkeästi puristinosan toiminnassa. Huono formaatio saattaa helpottaa irrotusta. Eräissä kohteissa sileyden lisääntyminen on kasvattanut vetoeroa. Orientaation ja formaation muutokset näkyvät eräiden kokemusten mukaan enimmäkseen päänviennin muutoksina.

Eräällä koneella vinon kosteusprofiilin korjaaminen puristinosalla on laskenut vetoeroa selvästi.

6.1.17. Prosessi ja lisäaineet

Prosesseissa ei ole haastattelun perusteella esiintynyt suuria pH-häiriöitä. Esiintyneet häiriöt ovat enimmäkseen aiheutuneet mekaanisen massan valkaisusta tulleista pH-muutoksista. Myös päällystetyn hylyn pulpperointi on aiheuttanut pH-häiriöitä. PH-häiriöt ovat heikentäneet retentiota, lisänneet osittain adheesiota sekä nopeuttaneet huopien tukkeutumista. PH-muutokset eivät ole haastattelun perusteella puristinosan kannalta suurimpia ongelmia.

Haastatelluissa kohteissa ei ole merkittäviä pihkaongelmia puristiosalla. Pihkaongelmia ei joko ole lainkaan tai ne esiintyvät kuivatusosalla, huovanjohtoteloissa tai huopaimulaatikon kansissa. Ainoastaan sanomalehtikoneilla puristintelojen pintaan pyrkii kertymään tahmaavaa materiaalia, joka saattaa olla pihkaa ja siistausmassan epäpuhtauksia. Yhdessä kohteessa puristintelan pintaan kertyy myös materiaalia, joka muuttaa telan pinnan harmaaksi. Kertyvästä materiaalista ei ole kuitenkaan tehty analyysiä koostumuksen tutkimiseksi. Eräissä kohteissa pihkaongelmia on aiemmin esiintynyt, mutta ongelmat on saatu hallintaan prosessin muutoksilla joko paperi- tai sellutehtaalla.

Tärkkelyksen on huomattu vaikuttavan puristinosan toimintaan. Tärkkelys saattaa lisätä joko radan adheesiota tai nopeuttaa huopien tukkeutumista. Eräessä kohteessa tärkkelyksen uskotaan helpottavan irrotusta, koska sitä käytetään retention kohottamiseen (BMA).

Dispergointiaineet vaikuttavat myös radan irrotukseen pitämällä telojen pintoja puhtaampina. Eräessä kohteessa vaahdonestoaineen uskotaan aiheuttavan vaikeita tahmoja muodostamalla vaikealiukoisia sakkoja mm. uuteaineiden kanssa. Lisäksi vanhentuneen/huonon vaahdonestoaineen on havaittu aiheuttavan kaavariterän kipinointia. Eräällä koneella tehdyn analyysin perusteella vaahdonestoainetta ja retentioainetta saattaa saostua kaavarin terään.

Kiertoveden sameus- ja varaustilan seuranta vaihtelee seurannan puuttumisesta kolme kertaa vuorokaudessa tapahtuvaan seurantaan. Lisäksi eräässä kohteessa kehitetään toimittajan kanssa on-line-mittareita jatkuvatoimiseen seurantaan. Missään kohteessa ei ole havaittu korrelaatioita sameus- tai varaustilan muutosten ja vetoeron kanssa. Ainoastaan isojen sameusmuutosten (satoja NTU-yksiköitä) on havaittu vaikuttavan vedenpoistoon ja siten myös irrotukseen. Sameus- ja varaustilamittaus on eräiden haastateltavien mukaan hyödyllinen retentio- ja kiinnitinkemikaalien toiminnan ja annostelun seuraamisessa. Erityisesti mekaanisen massan liuenneen aineen määrää seurataan sameusmittauksella.

Puristinosan toimintaan vaikuttavista prosessihäiriöistä freneksen muutos on selvästi yleisin. Yleensäkin massojen ominaisuuksien muutokset (esim. sellut) ovat selvästi ratkaisevimpia puristinosan kannalta. Muita havaittuja tekijöitä ovat lämpötila, pH ja retention muutos.

Päällystetyn hyllyn käyttö aiheuttaa ajoittain lateksikertymiä, mutta ne esiintyvät lähinnä kuivatusosalla sekä huovanjohtoteloilla. Päällystetyn hyllyn määrän lisäys nopeuttaa huopien likaantumista sekä lisää kaavarin keräämän materiaalin määrää. Haastatteluun osallistuneilla LWC-koneilla päällystettyä hylkyä käsitellään alunalla (2 kpl) tai kationisella polymeerillä (1 kpl) liuenneiden ja kolloidisten komponenttien sitomiseksi.

Kolmessa kohteessa on käytetty viereisen päällystävän koneen hylkyä, jolloin puristinosan teloille ja huopiin on muodostunut saostumia. Saostumat ovat olleet analyysin perusteella pääosin lateksia ja muita päällystetyn hyllyn komponentteja. Tämän perusteella vaikuttaa siltä, että päällystetty hylky saattaa aiheuttaa ongelmia puristinosalla joutuessaan vieraaseen prosessiin.

Hiertämön tai hiomon vesisysteemin erotuksessa ei ole suuria eroja. Kaikissa kohteissa paperikoneen kiertovesi on massanvalmistuksen täydennysvetenä sekä jatkolaimennusvetenä. Yhdessä kohteessa hiomon vettä joudutaan ajoittain ottamaan paperikoneelle lämpötilan nousun johdosta. Massan sakeutuksessa ennen

jatkokäsittelyä on kuitenkin eroja siten, että alin sakeus on 10 % ja ylin 35 %. Massanvalmistuksen korkea erotusaste paperikoneprosessista parantaa joidenkin haastateltavien mukaan ajettavuutta.

Siistausprosessi on haastatellussa kohteessa melko hyvin hallinnassa, eikä siistausmassan käyttö aiheuta suuria ongelmia. Siistausprosessi on monien ongelmien perussy, mutta ajettavuus on kohtuullinen. Haastateltavan mukaan olisi helpompi käyttää pelkästään joko siistausmassaa tai hierrettä. Vaikeuksia aiheuttavat nyt molempien prosessien ongelmat.

6.1.18. Tulosten yhtenevyys kirjallisuuden kanssa

Tehdyt haastattelut antavat kuvan siitä, mikä on tämänhetkinen ongelmakenttä ja ymmärtämys puristinosan ongelmista. Haastateltavan mielipiteisiin vaikuttaa hänen kokemuksensa ja perehtyneisyytensä aiheita käsitteleviin tutkimuksiin ja kirjallisuuskatsauksiin. Monet vastaukset saattavat perustua oletuksiin ja ennakkokäsityksiin, joita ei ole varmistettu huolellisin koejärjestelyin. Tästä syystä saatuja tuloksia ja kokemuksia ei voi pitää ehdottoman luotettavina. Tulokset osoittavat kuitenkin merkittävimmät tekijät ja ongelmakohdat.

Radan kuiva-ainepitoisuuden merkitys on suurempi kuin kirjallisuuden perusteella voi päätellä. Haastattelutulosten perusteella kosteuden merkitys on selvästi suurin. Telan pinnan sileyden/karheuden merkitys on tulosten mukaan suurempi kuin kirjallisuuden perusteella voisi olettaa. PH:n merkitys on haastattelun perusteella pienempi kuin kirjallisuuden perusteella voisi olettaa. Tähän saattaa vaikuttaa nykyisen mittaustavan karkeus, jolloin lyhytaikaiset paikalliset muutokset eivät ilmene seurannassa. Ne saattavat aiheuttaa kuitenkin vaikeuksia, joille ei löydy syytä. Usein myös perälaatikon pH-säätöä pidetään virheellisesti riittävänä.

Käytännön paperinvalmistuksessa irrotukseen vaikuttaa merkittävästi myös kaavarin toiminta. Kaavarointia ei voi tutkia laboratorio-olosuhteissa, mutta likaisen telapinnan vaikutuksia voi tarkastella myös kirjallisuuden pohjalta.

Kaavariterän huono pito jättää telan pintaan vesikalvon, joka voi kastella rainaa ja muodostaa voimakkaamman sidoksen radan ja rainan välille. Lisäksi kaavarin läpäisevä lika voi lisätä adheesiota ja heikentää entisestään kaavarin pitoa. Myös pintakemian muutos, esim. pihkan tai lateksin kertyminen, aiheuttaa pito-ongelmia ja ajettavuusvaikeuksia. Haastattelun tulokset osoittavat kaavaroinnin olevan merkittävä tekijä irrotuksen ja ajettavuuden kannalta.

Retention merkityksestä esiintyy eriäviä mielipiteitä. Haastattelun perusteella ei voi tehdä selvää johtopäätöstä, kannattaako tavoitella mahdollisimman korkeaa retenttiota vai tyytyä alempaan suhteellisen helposti saatavaan retentioon. Asiaan vaikuttaa myös se, kuinka hyvin hienoaines ja täyteaineet on sidottu rainaan kiinni. Eli retentiosäädön rakenne ja ajotapa vaikuttavat lopputulokseen. Vaikuttaa kuitenkin siltä, että alhainen kolloidijakeen pitoisuus puupitoisten paperien valmistuksessa parantaa ajettavuutta ja koneen puhtaanapysymistä myös puristinosan suhteen.

Vaikka kuiva-ainepitoisuuden vaikutuksen uskotaan olevan huomattava, sen merkitystä tai vaikutuksen suuruutta on tutkittu erittäin vähän. Syynä tähän saattaa olla sopivien mittarien vähäisyys, henkilöstöresurssit ja samanaikaisesti tapahtuvan muun prosessiseurannan vaikeus. Lisäksi tehtaiden tutkimustoiminta on usein lyhytjänteistä akuuttien ongelmien ratkaisua.

Vetoeroon ja radan irrotukseen liittyviä tekijöitä on tutkittu/tutkitaan vähän verrattuna niiden merkitykseen ajettavuuden ja tuotantotehokkuuden kannalta. Yksinkertaisimmillaan eri tekijöiden selvittely voi perustua jo kerättävien prosessi- ja ajo-olosuhteiden keskinäisten riippuvuuksien vertailuun matemaattisesti tai graafisesti. Tällainen tutkimus voi hyödyttää pitkäaikaisten muutosten ja muuttujien selvittämisessä. Tällaisia voisivat olla mm. huopien ikä, vuodenajat, selluladut, massaosuudet, nopeus ja neliömassa.

Ajallisesti lyhyiden muuttujien selvitykseen tilastollinen tarkastelu ja normaali arvojen tallennus ei ole riittävän tarkkaa. Lyhytvaikutteisten muutosten selvittämi-

seksi prosessin muutoksia on tarkasteltava hyvin lyhyellä aikaskaalalla, esim. 10 s – 15 min. Lisäksi mittapisteitä on oltava riittävän tiheästi, jotta muutosten syyt voidaan selvittää. Radan irrotukseen vaikuttavien tekijöiden tutkimista vaikeuttaa eri tekijöiden samanaikaiset ja osin vastakkaiset vaikutukset. Ongelmia aiheuttaa myös irrotustyön mittaaminen epäsuorasti vetoerosta, joka saattaa muuttua esimerkiksi venymän muuttuessa ilman, että irrotustyö muuttuu.

6.2. Telan pinnan lika-analyysit

Työn aikana otettiin hionnan yhteydessä keskitelan pinnasta näytteitä, jotka lähetettiin analysoitavaksi. Analyysijä suoritettiin sekä telan pinnasta lohkaistuista paloista että hiomanauhaan tarttuneesta tummasta liasta.

6.2.1. Näyte A

Valrok-pinnoitteesta lohkaistiin pieniä paloja, jotka lähetettiin analysoitavaksi IR-spektrofotometrilla. Näyte toimitettiin 28.4.1994. Näyte sisälsi:

IR-spektri KBr-tablettina:

- * pääasiassa oksideille sopivia juovia

Uutos dikloorimetaanilla, haihdutusjäännöksen KBr-pintafilmisspektri:

- * polystyreenille sopivia juovia
- * esterille sopivia juovia
- * CH_3 - ja CH_2 -ryhmille sopivia juovia

6.2.2. Näyte B

Valrok-pinnoitteesta otettiin hionnan yhteydessä näytteitä, jotka analysoitiin IR- ja SEM/EDS-spektrien avulla.

Näyte 1: Kaavarinäyte 2.5.94, mustaa likaa paperipyyhkeen pinnalla tärpätillä liuotettuna. Tela hiottiin, pestiin tärpätillä ja hiottiin uudelleen. Hion-

nan jälkeen laitettiin kaavari paikalleen ja näyte otettiin kaavariin kertyvästä liasta tärpätin avulla.

Näyte sisälsi:

- * alumiinia sisältävää yhdistettä, mahdollisesti alumiinihydroksidia/oksidia, peräisin alunasta.
- * alifaattista hiilivetyä (öljyä, alkuperä voi olla vaahdonestoaineen öljykomponentti, voitelyöljy tai tärpätti).
- * pihkaa, jonka sisältämät hartsi- ja rasvahapot olivat Al-suoloina.
- * vaaleita kalvomaisia kappaleita, jotka olivat polyamidia (sulanutta/hienoksi jauhautunutta huopakarvaa).
- * sinertäviä kappaleita, jotka olivat epoksipohjaista hartsia.
- * huopakarvoja
- * kaoliinia ja talkkia, määrällisesti vähän.
- * ruskehtavia kalvomaisia kappaleita, jotka sisältävät runsaasti puusta peräisin olevia aineosia.
- * "metallihiukkanen", kuparia ja sinkkiä.

Näyte 2: Hiontanäyte 22.4.94, harmahtava jauhe. Otettu ilman tärpättiä.

Näyte sisälsi:

- * suurin osa (80 %) oli alumiinia sisältävää yhdistettä, todennäköisesti alunasta peräisin olevaa alumiinihydroksidia/-oksidia; alumiinia sulfaattina oli hyvin vähän.
- * loppuosa oli pääasiassa pihkaa, jonka rasva- hartsihapot (ainakin osittain) olivat Al-suoloina (Ca-suolojen osuus oli vähäinen).
- * kuituja, muutamia; mekaanista massaa ja sellua, jokunen synteettinen kuitu (ei huopakarvoja).
- * kaoliinia ja talkkia vähän.

Näyte 3: Hiontanäyte 2.5.94. Otettu ilman tärpättiä.

Näyte sisälsi:

- * näytteestä suurin osa oli alumiinihydroksidia/-oksidia.
- * alifaattista hiilivetyä (öljyä, alkuperä voi olla vaahdonestoaineen öljykom-

ponentti tai jokin voiteluöljy).

- * muutama kuitu/karva, jotka olivat huopakarvoja, polyesterikuitu (PET), jokunen luonnonkuitu (muu kuin paperikuitu) ja jokunen mekaanisen massan kuidunkappale.
- * kaoliinia ja talkkia vähän.

6.2.3. Näyte C

VALROK-pinnasta jäi hionnan yhteydessä hiomanauhaan materiaalia, joka analysoitiin IR- ja SEM/EDS-spektrien avulla.

Vaalea näyte:

- * näyte oli lähes kokonaisuudessaan valkoista jauhetta, joka sisälsi pääasiassa alumiiniyhdistettä, todennäköisesti alumiinioksidia.
- * näytteen joukossa oli muutamia kellertäviä levymäisiä kappaleita, jotka olivat polyamidia (sulanutta huopakarvaa ?)
- * muutamia kuituja:
 - puukuituja
 - sinisiä ja mustia kuituja, jotka olivat luonnonkuituja
- * näyte sisälsi myös puun uuteaineita

Tumma näyte:

- * valkoista jauhetta, joka oli alumiinioksidia
- * muutama puukuitu
- * lisäksi uuteaineita

Näytteissä ei ollut todettavia määriä epoksihartsia (kaavari), talkkia, kaoliinia, hiili- tai lasikuitua (kaavari) tai vaahdonestoainetta.

6.2.4. Näyte D

Näytteet otettiin VALROK-pinnasta siten, että näyte 1 on pinnasta ja näyte 2 on hieman pinnan alta. Näytteistä 1 ja 2 määritettiin uuteainekoostumus MTBE-uuttona.

Näyte 1: Näytteestä löytyi selvästi puusta lähtöisin olevia uuteaineita:

* rasvahappoja/diterpeenejä	107 mg/kg
* hartsihappoja	113 mg/kg
* neutraaliaineita (mm. steroleja)	96 mg/kg
* steroliestereitä	10 mg/kg
* triglyseridejä	–
* lignaaneja	4 mg/kg

Näyte 2: Näytteestä ei löytynyt uuteaineita.

6.2.5. Käytännön kokemuksia

Analyysien ja eräillä tehtailla havaittujen ilmiöiden perusteella voi päätellä, että pihka saattaa ajoittain aiheuttaa ajettavuusvaikeuksia, vaikka muodostuvaa kalvoa ei selvästi havaitse. Pihkan muodostama tahmaava kalvo saattaa muodostua tietyn ajan kuluessa, jolloin kertymän havaitsee esimerkiksi käsin kosketeltaessa tahmeana ja karheana pintana. Ilmiön havaitsemishetkellä kyseisellä tehtaalla ei valitettavasti otettu pinnasta näytteitä, joten kalvon tarkka koostumus jäi selvittämättä.

Pihkan aiheuttaman tahmean kalvon vaikutuksia tukee myös havainto, että kyseisellä SC-koneella keskitelan vaihto ajovaikeuksien aikana varatelaan laski vetoerotasoa selvästi ja ajettavuus parani huomattavasti.

Oletusta pihkapitoisuuden muutosten merkitystä ajettavuusvaikeuksiin tukee se, että kyseisellä SC-koneella esiintyneet ajettavuusvaikeudet ja tahmea telan pinta ilmenivät maallis-huhtikuussa. Tällöin puukaupan käynnistymisestä johtuen massanvalmistuksessa käytettävä puu tuli lähes suoraan metsästä. Tämän tiedetään tutkimusten ja kokemusten /34, 50/ perusteella olevan haitallista pihkan tahmaavuuden suhteen.

7. IRRROTUSTUTKIMUS TUOTANTOKONEELLA

Märän pään toiminnan vaikutuksia tutkittiin tuotantokoneella, koska laboratoriotutkimusten luotettavuus on tässä suhteessa epävarma ja prosessin dynaamisten muutosten tutkiminen on käytännössä mahdotonta. Tuotantokoneen irrotuksen seuranta edellyttää huolellista prosessin seurantaa ja tästä johtuen tutkimuskohteeksi sopivan paperikoneen tulee olla riittävän uudenaikainen mitta-antureiden suhteen.

Irrotusta seurattiin SC-paperia valmistavalla paperikoneella, johon oli kuuden viikon seurantajakson ajaksi asennettu KCL-WEDGE. WEDGE on järjestelmä, johon tallennetaan antureista ja tehtaan tietojärjestelmästä kerättyä tietoa. Kerättyä aineistoa voidaan sitten yhdistellä halutuiksi kuvaajiksi tai ryhmiksi. WEDGE:ssä on lisäksi matemaattisia työkaluja, joilla voidaan tehdä aikasarja-analyyssejä sekä tilastollista prosessinhallintaa valituista muuttujista. Paperikoneen antureita täydennettiin lisäämällä mm. johtokykymittareita sekä märän pään kemiallisen tilan analysointiin COD-, SiO_2 - ja Ca^{2+} -mittaukset. Prosessikaavio on esitetty liitteessä 1.

Koneen viiraosa on hybridiformeri ja puristinosalla on SYM PRESS II + IV puristin. Koneella valmistettavan paperin neliömassa vaihtelee $48 - 60 \text{ g/m}^2$ välillä. Tuhkapitoisuus on $27 - 33 \%$. Normaali ajonopeus vaihtelee $1100 - 1250 \text{ m/min}$ välillä. Irrotuksen seurantaa varten puristinosalle asennettiin IV-puristimen jälkeen infrapunasäteilyyn perustuva kuiva-aine- ja lämpötilamittari. Keskitelan irrotusta seurattiin ajastetulla videokameralla, joka otti kuvan $1,6 \text{ sekunnin}$ välein. Tällä tavoin kuvattuna vuorokaudessa kertyi 18 minuuttia videonauhaa. Irrotuksen tutkiminen perustui näin vetoeron ja irrotuskohdan seurantaan. Irrotuskohtaa ei voinut syöttää WEDGE:een, joten ainoaksi keinoksi jäi graafisten kuvaajien tutkiminen syy-seuraussuhteiden selvittämiseksi. Myöskään vetoeroa ja irrotuskohtaa ei voinut laskennallisesti yhdistää rajatun ajan johdosta, joten tutkimuksessa huomioitiin irrotusta molempien muuttujien suhteen. Kuuden viikon seurantajakson aikana vetoero vaihteli $3,25 - 3,92 \%$ välillä.

7.1. Kosteus

7.1.1. Tuhkapitoisuus

Tuhkapitoisuuden muutokset vaikuttavat radan kosteuteen. Tuhkapitoisuuden nousu laskee radan kosteutta. Irrotuskohta laskee kuitenkin hieman alemmaksi, kun tuhkapitoisuus nousee. Vaikka radan kosteus samalla laskee, vaikutus on irrotusta heikentävä. Todennäköinen syy on radan lujuuden lasku tuhkapitoisuuden noustessa, minkä merkitys on suurempi kuin kosteuden laskun aiheuttama adheesion pienentyminen ja lujuuden kasvu. Eli tuhkapitoisuuden muutoksen merkitys on tutkimuskohteessa suurempi radan lujuuteen kuin varsinaiseen irrotustyöhön. Merkitys on kuitenkin tutkimuskohteen vaihteluväleillä pieni, koska vetoeroa ei tarvitse muuttaa tämän johdosta. Esimerkkitapauksessa kosteus ei nouse takaisin lähtötilanteen tasolle, koska hiokkeen valkaisu lopetetaan, jolloin massan vedenpoisto paranee. Kuvaajat ovat liitteessä 2.

7.1.2. Freeness

Freeness-tasoa ei seurantajakson aikana muutettu koetarkoituksessa, vaan vaihtelut aiheutuivat joko laadun aiheuttamasta muutostarpeesta tai normaalista prosessivaihtelusta. Havaintojen mukaan freeness vaikuttaa selvästi radan kosteuteen. Sen sijaan radan lujuusominaisuuksien muutoksesta puristinosalla olevassa kuiva-ainepitoisuudessa ei ole tarkkaa kuvaa.

Esimerkkitapauksessa annosteluhiokkeen freeness nousi 38–40 ml:n tasolta 43–44 ml:n tasolle. Tällöin raakapaperin huokoisuus nousi 130 ml:sta 150 ml:aan. Myös superkalanteroidun valmispaperin huokoisuus nousi 16 ml:sta 19 – 20 ml:aan. Radan kosteus laski tämän seurauksena noin 3 g/m^2 , mikä vähensi kuivatushöyryn kulutusta 40:stä t/h 27:ään t/h. Kuivatushöyryn kulutuksen lasku olisi voinut olla vielä hieman suurempi, koska koneen nopeutta nostettiin 10 m/min, mikä lisäsi höyrynkulutusta. Freeneksen vaikutus radan kosteuteen oli siis yhtä suuri kuin höyrylaatikkokokeilla aikaansaatu minimin ja maksimin välinen ero. Kokeen

aikana radan neliömassa, tuhkapitoisuus ja massaosuudet olivat vakioita. Kuvaajat ovat liitteessä 3.

Freneksen nousun aiheuttama kosteuden lasku ei aiheuttanut merkittävää irrotuksen helpottumista. Jakson loppuosalla vetoeroa laskettiin 3,58 %:sta 3,42 %:iin. Samanaikaisesti myös irrotuskohta laskee, jolloin todellinen irrotuksen muutos on pienempi kuin vetoeron muutos osoittaa. Muutos on vähäinen verrattuna kosteusmuutokseen. Syynä saattaa olla radan koheesion pienentyminen freneksen laskiessa, jolloin märän rainan lujuus laskee.

Toisessa tapauksessa hiokkeen freness laski 40 ml:sta 30–35 ml:aan noin puolen vuorokauden ajaksi. Raakapaperin lujuus laski tämän seurauksena 2:een kN/m. Freneksen nousu takaisin normaaliarvoon nosti lujuuden 2,3 kN/m. Radan kosteus nousi noin 2 g/m² vakiotuhkapitoisuudessa ja vakionopeudessa. Tämän seurauksena kuivatushöyryn kulutus kasvoi noin 33:sta t/h 38–40:een t/h. Kosteuden muutos oli siten merkittävä. Vetoeroa ei muutettu kosteuden nousun vuoksi. Irrotuskohta laskee kosteuden noustessa 20.6. aamulla. Muutos ei ole irrotuskohdassakaan suuri. Neliömassan pienentyminen laskee irrotuskohtaa lisää 20.6. Irrotuskohdan vaihtelu on kuitenkin melko suurta, joten kosteuden ja freneksen vaikutus ei ole kovin selvä. Freneksen lasku on todennäköisesti lisännyt radan koheesiovoimaa, jolloin märän rainan lujuus on lisääntynyt. Koska muutos on kuitenkin hyvin pieni, ei freneksellä ja kosteudella ole näiden kokemusten mukaan oletetun suuruista merkitystä irrotukseen. Kuvaajat ovat liitteessä 3.

Tulokset ovat yhteneväisiä höyrylaatikkokokeen kanssa, mutta ristiriitaisia pickup-huovan vaihdosta saatujen kokemusten kanssa. Syynä saattaa olla freneksen muutoksen aiheuttama radan lujuuden muutos, jolloin kosteuden ja lujuuden vaikutukset ovat vastakkaisia.

7.1.3. Puristinhuovat

Seurantajakson aikana pickup-huopa vaihdettiin kerran, I-puristimen huopa kaksi kertaa ja IV-puristimen huopa myös kaksi kertaa. Huovan vaihto näkyy selvästi puristimen kurakaukalon ja huopaimulaatikon virtauksissa. Huovan käyntiinlähtö-ajan pituus vaihtelee kahdesta viiteen päivään ollen normaalisti noin kolme päivää. Kun uusi huopa vaihdetaan koneeseen, kurakaukalosta poistuva vesimäärä laskee ja huopaimulaatikolta poistuva vesimäärä kasvaa lähes yhtä paljon kuin kurakaukalosta vähenee. Raina jää yleensä kuitenkin hieman kosteammaksi. Nipin vedenpoistomuutokset perustuvat uuden huovan erilaiseen kykyyn poistaa vettä. Uusi huopa poistaa huonommin vettä, jolloin vesi poistuu huovasta vasta huopaimulaatikolla. Kuvaajat ovat liitteessä 4.

Pickup-huopa on vedenpoiston kannalta merkittävin, koska se poistaa selvästi enemmän vettä kuin muut huovat. Puristinosa toimii tasapainottavasti siten, että muut nipit pyrkivät tasapainottamaan yhdessä nipissä tapahtuvia muutoksia. Tällöin IV-puristimen huovanvaihto näkyy puristinosan jälkeisessä loppukosteudessa, koska tasapainottavia nippejä ei enää ole. Toisaalta IV-puristimen vedenpoisto on määrällisesti vähäistä, joten muutos ei tästä johtuen ole aina merkittävä. III-puristin reagoi suhteellisesti selvimmin lajinvaihtotilanteisiin, jolloin neliömassamuutokset muuttavat poistuvia vesivirtauksia.

Nippien linjapainemuutokset eivät muuta merkittävästi radan kuiva-ainetta, kun painemuutos on normaali (10 – 15 kN/m). Koejakson aikana pääasiassa vain IV-puristimen paineita muutettiin. Muutos ei yleensä vaikuta radan kosteuteen havaittavasti. Liitteessä 5 on esitetty nipin paineen vaikutus vedenpoistoon.

Seurantajakson aikana huopia pestiin, jotta niiden vedenpoisto-ominaisuudet paranisivat. Joissakin tilanteissa pesu puhdisti huopia, jolloin niiden vedenpoisto muuttui kurakaukalon ja imulaatikon välillä. Näin ei kuitenkaan käynyt aina, eli joskus huovat ovat niin tukkeutuneita, että niitä ei saada pesulla puhdistumaan.

Pickup-huovan vaihto vaikutti kaikkein selvimmin vetoeroon ja irrotuskohtaan. Huovan vaihto nosti vetoeron 3,4 %:sta 3,7 %:iin. Samanaikaisesti myös radan irrotuskohta laski alemmalle tasolle. Todellinen vetoeron muutostarve olisi ollut vielä suurempi, jotta todellinen ero olisi selvinnyt. Kuivatushöyryn kulutus kasvoi 30–32:sta t/h 37–38:aan t/h. Kosteusmittarissa oli paperia katkon jäljiltä, joten se ei ollut luotettava. Kosteusmuutos ei ollut kuivatushöyryn kulutuksen perusteella niin suuri kuin irrotusmuutoksen perusteella voisi olettaa. Pickup-huovan vaihdon yhteydessä hiomon suihkuveden lämpötila laski, mikä laski myös massan lämpötilaa. Tämä heikensi vedenpoistoa, jolloin huovan käyntiinajotilanteessa kuiva-aine oli entistä alhaisempi puristinosan jälkeen. Viirakaivon höyrylämmityksellä tilannetta saatiin nopeasti korjattua oikeaan suuntaan. Kuvaajat ovat liitteessä 6.

Tämän kokemuksen perusteella radan kosteus vaikuttaa puristimen vetoeroihin ja irrotuskohtaan. Tämän johdosta tulee välttää kahden huovan vaihtoa samaan aikaan, koska puristinosan kyky tasapainottaa kosteudenmuutosta heikkenee. Jakson aikana vaihdettiin myös I-puristimen huopa, mutta se aiheutti korkeintaan 0,1 % muutoksen vetoerossa. Tässä suhteessa tulokset ovat osittain ristiriitaisia. Huovanvaihdon vaikutus riippuu paljon siitä, kuinka hyväkuntoisia muut huovat ovat, eli kuinka hyvin ne pystyvät kompensoimaan vedenpoiston muutosta. Tästä johtuen saman huovan vaihto voi aiheuttaa vaihtelevan muutoksen vetoerossa eri tilanteissa. Tuloksiin saattoi vaikuttaa merkittävästi myös kemiallisen tilan muuttuminen. Huovanvaihdosta alkoi noin viikon jakso, jolloin merkittävä osa irrotusvaikeuksista johtui selvästi kemiallisen tasapainon muuttumisesta.

7.1.4. Höyrylaatikko

Höyrylaatikon vaikutusta radan irrotukseen tutkittiin vaihtelemalla höyryvirtausta 1,5 ja 4,5 t/h välillä. Höyrylaatikkoa ei otettu kokonaan pois käytöstä, koska sen epäiltiin aiheuttavan ratakatkoja. Höyrylaatikon tasomuutokset pyrittiin tekemään vakiopainetasolla, jotta painemuutosten aiheuttamat mahdolliset radan rakenteen muutokset eivät vaikuttaisi tuloksiin (pölyäminen, kuitujen irtoilu).

Lähtötaso eli normaali ajoarvo oli 2,8 t/h, jolloin säädön asetusarvo oli 52 % (maksimi 60 %) ja höyrynpaine 52 kPa. Kosteushajonta (profilointikyky) oli tällöin 0,35 yksikköä. Virtaus laskettiin 1,5 t/h laskemalla säädön asetusta 27 %:iin, jolloin kosteushajonta oli 0,87 yksikköä. Höyryvirtaus nostettiin 3 t/h, jolloin säädön asetus oli 53 % ja kosteushajonta 0,37 yksikköä. Virtaus nostettiin edelleen 3,8 t/h, jolloin säätö oli maksimissa eli 60 %:ssa. Kosteushajonta oli tällöin 0,51 yksikköä. Asetus palautettiin takaisin normaaliarvoon 52 %:iin, jolloin höyrynvirtaus oli 2,9 t/h ja kosteushajonta oli 0,34 yksikköä. Tavoitearvon eli 4,5 t/h saavuttamiseksi vakiokammion venttiili avattiin täysin auki ja asetus nostettiin 54 %:iin profilointikyvyn säilyttämiseksi. Tavoitearvo 4,5 t/h saavutettiin nostamalla höyrylaatikon paine 60 kPa:iin. Paineen nosto ei vaikuttanut laboratoriomittausten mukaan radan huokoisuuteen. Höyrylaatikon profilointikyky säilyi tällä tavoin kohtuullisena.

Koko höyrylaatikkokokeen aikana vetoero oli vakio eli 3,29 %. Myös viiran nopeus oli vakio, 1171 m/min. Irrotuskohdassa höyrylaatikon tasomuutokset kykeni havaitsemaan vain videon avulla. Ilman videotia irrotuskohdan muutoksia ei olisi havainnut. Höyrylaatikon höyryvirtaus vaikuttaa eniten pickup-huovan vedenpoistoon, mikä näkyi selvästi poistuvissa vesivirtauksissa. Muut huovat tasapainottivat pickup-huovan vedenpoistomuutoksia siten, että vedenpoiston lisääntyessä muissa huovissa vedenpoisto laski ja päin vastoin. Eri höyrytasot näkyivät selvästi myös radan kosteus- ja lämpötilamittauksessa sekä kokonaishöyrynkulutuksessa. Kuvaajat ovat liitteessä 7.

Tulosten perusteella voi päätellä, että höyrylaatikolla saatiin merkittävä kosteusmuutos rataa, mutta irrotus ei muuttunut merkittävästi. Höyrylaatikko vaikutti radan kosteuteen merkittävimmin pickup-huovan kautta. Toisaalta pickup-huovan vaihto vaikutti irrotukseen selvästi. Tulokset ovat tässä suhteessa ristiriitaisia. Syynä on radan lämpötilan nousun aiheuttama radan venymän kasvu ja vetolujuuden lasku, jolloin irrotuksen helpottuminen ja radan venymän kasvu vaikuttavat vastakkaisesti. Backin ja Anderssonin /20/ mukaan yhden °C lämpötilanousu 40–50 % kuiva-ainepitoisuudessa laskee rainan vetolujuutta noin prosentilla. Höyry-

laatikko saattaa nostaa radan lämpötilaa 10–30°C. Samansuuntaisia havaintoja on tehty myös eräillä muillakin tehtailla, tosin myös irrotusta helpottaviakin koke-muksia on saatu /56/. Syynä tehtaiden välisiin eroihin saattaa olla radan koostu-mus, koska esimerkiksi mekaanisen massan ja sellun lujuusominaisuudet reagoivat eri tavoin lämpötilan nousuun.

7.1.5. Massan lämpötila

Massan lämpötilan muutos vaikuttaa selkeästi radan kosteuteen ja kuivatushöyryn kulutukseen. Lämpötila laski seurantajakson aikana kolme kertaa. Syynä oli yleensä hiomon suihkuveden lämpötilan lasku. Tämä ei kuitenkaan vaikuttanut radan irrotukseen merkittävästi. Esimerkiksi 4°C lämpötilan lasku ei vaikuttanut irrotukseen merkittävästi, vaikka kosteudessa tapahtui selvä muutos. Kuiva-tushöyryn kulutus kasvoi 30:stä t/h 37:ään t/h. Tulosten perusteella voi päätellä, että vain erittäin suuret lämpötilamuutokset voivat vaikuttaa irrotukseen kosteuden muutosten kautta. Myös tässä tapauksessa lämpötilan ja kuiva-ainepitoisuuden muutoksien vaikutukset ovat vastakkaisia, jolloin näkyvä muutos on vähäinen. Kuvaajat ovat liitteessä 8.

7.2. Radan koostumus

Tuhkapitoisuuden muutokset vaikuttavat radan lujuuteen ja kosteuteen. Kosteus laskee tuhkapitoisuuden noustessa, mikä lisää radan lujuutta. Toisaalta tuhkapitoi-suuden nousu lisää kuitujen välisiä etäisyyksiä ja vähentää kuitusidosten lukumää-rää. Tämä heikentää radan lujuutta. Seurantajakson perusteella tuhkapitoisuuden nousu heikentää radan lujuutta. Muutos on kuitenkin niin pieni, että vetoeroa ei tarvitse säätää muutostilanteissa (muutos tuhkapitoisuudessa oli enimmillään 4 %).

Eri massaosuuksien vaihtelu ei vaikuta selvästi vetoeroihin. Muutokset ovat niin pieniä ja hitaita, että radan lujuuden tai adheesion muutos ei näy vetoerossa. Massaosuuksien vaihtuessa muutokset pyritään tekemään siten, että radan lujuuden

ja muiden laatuominaisuuksien muutos kompensoidaan muilla massakomponenteilla. Tämän johdosta tuotantokoneella on vaikea selvittää massaosuuksien vaikutusta radan irrotukseen.

Selluosuuden merkityksen tulkintaa vaikeuttaa seurantajakson aikana vaihdelleet sellunvalmistajat sekä valmistajien välisen osuuden vaihtelu. Eri tehtaiden välillä on selviä eroja sellun lujuudessa ja jauhautuvuudessa, jolloin paperin lujuusominaisuudet vaihtelevat selvästi samassa sellupitoisuudessa valmistajan mukaan. Lisäksi on vaikea määritellä sellun lujuuden muutosten vaikutuksia määrän rainan lujuusominaisuuksiin.

Hylyn määrä ja vetoero ovat jossain määrin riippuvia toisistaan. Tähän on todennäköisesti syynä katkojen ja ajovaikeuksien aikana normaalisti tapahtuva vetoeron kasvu. Samanaikaisesti katkojen lisääntyminen kasvattaa hylyn määrää ja johtaa hylyn annostelun lisääntymiseen. Koska SC-koneella konehylky on koostumukseltaan radan kaltainen, ei vaikutus ole todennäköisesti kovin suuri. Ylimääräisen kuivatuksen aiheuttama kuitujen jäykistyminen ja sitoutumiskyvyn heikkeneminen eivät todennäköisesti vaikuta merkittävästi, koska hylyn annostelun vähentäminen ei vaikuttanut vetoeroihin tai irrotuskohtaan.

Hiokkeen annostelun muutokset eivät vaikuttaneet vetoeroon. Hiokkeen annostelu vaikuttaa radan kosteuteen ja retentioon. Suuremmissa muutostilanteissa radan irrotuskohta huojui hieman. Tämä johtuu ilmeisesti radan lujuuden ja kosteuden muutoksista, jotka aiheuttavat irrotuskohdassa huojuntaa. Merkitys ei ole kuitenkaan suuri, koska vetoeroa ei tarvitse muuttaa tämän johdosta. Radan lujuuden merkitys on erittäin suuri irrotusta seurattaessa. Koska tutkimuskohteessa radan lujuus pyrittiin pitämään mahdollisimman tasaisena, eivät lujuusmuutokset olleet suuria. Tämän johdosta tuloksista voi todeta vain, että tutkimuskohteessa tehdyt massaosuuksien muutokset eivät vaikuttaneet merkittävästi irrotukseen.

7.3. Ajonopeus

Ajonopeus ei normaaleissa nopeudenmuutoksissa vaikuta merkittävästi irrotukseen. Ajonopeuden voi olettaa vaikuttavan irrotukseen, kun nopeusero on erittäin suuri. Koejakson aikana noin 50 m/min nopeuden muutos ei vaikuttanut irrotukseen merkittävästi, kun neliömassa ja tuhkapitoisuus olivat vakioita. Vain irrotuskohdassa tapahtui pieni lasku. Joissakin tilanteissa nopeuden muutos aiheutti irrotuskohdan huojuntaa, mutta ei varsinaista tasomuutosta vetoerossa tai irrotuskohdassa.

Nopeuden muutoksen ja vetoeron välinen korrelaatio on negatiivinen, koska nopeuden muutostilanteissa prosentuaalisen vetoeron muutos on yleensä vastakkainen, jos varsinaista vetoeroa ei säädetä. Tällöin ei laskennassa huomioida irrotuskohdan muutosta. Yhtenevyys on kuitenkin merkitykseltään melko pieni. Nopeuden merkitykseen vaikuttaa myös puristinosan geometria, joten nopeuden vaikutus saattaa olla merkitykseltään erilainen riippuen esimerkiksi irrotuskulman muutoksista. Kuvaajat ajonopeuden vaikutuksesta ovat liitteessä 9.

7.4. Neliömassa

Neliömassan kasvu vakiotuhkapitoisuudessa nosti irrotuskohtaa, joten irrotus helpottui. Neliömassan kasvu lisää radan lujuutta ja radan venymä pienenee. Tässä suhteessa irrotuksen helpottuminen on näennäistä. Kineettisen energian kasvu keskipakovoiman kasvaessa saattaa vaikuttaa irrotusta helpottavasti. Toisaalta radan suunnanmuutokseen tarvittava momentti kasvaa.

Lajinvaihtotilanteissa, joissa sekä tuhkapitoisuus että neliömassa muuttuivat, ei irrotuskohta pääsääntöisesti muuttunut merkittävästi. Tämä vahvistaa käsitystä, että neliömassan kasvu nosti radan lujuutta, mutta tuhkapitoisuuden kasvu heikensi radan lujuutta. Tällöin ne kumosivat toistensa vaikutuksia radan lujuuteen, ja irrotuskohdassa ei tällöin näkynyt merkittävää muutosta. Vetoeroa ei tarvinnut

muuttaa lajinvaihtotilanteissa. Tuloksiin vaikutti neliömassamuutoksen suuruus, koska tutkimuskohteessa neliömassan vaihteluväli oli 48–60 g/m². Yksittäinen muutos oli yleensä 4 g/m². Koska muutos oli suhteellisen pieni, ei irrotusmuutokseen ollut suuri. Kuvaajat neliömassan vaikutuksesta irrotukseen ovat liitteessä 10.

7.5. Kemiaalliset muutokset

7.5.1 Valkaisu

Mekaanista massaa valkaistiin ditioniittiliuoksella. Valkaisu ei ollut jatkuvaa, vaan suurempia määriä annosteltiin vain korkeamman vaaleustavoitteen aikana lyhyinä ajanjaksoina. Ditioniitin annostelu nostaa radan kosteutta heikentämällä hiokkeen vedenpoistoa. Kosteuden muutoksen havaitsi selvästi, kun ditioniitin annostelua muutettiin nopeasti ja muutos oli suuri. Kosteuden nousuun saattaa vaikuttaa myös se, että vaaleustavoitteen noustessa hiokkeen annostelua lisättiin ja siistausmassan annostelu lopetettiin. Eli hiokeosuuden kasvu osaltaan nosti radan kosteutta.

Esimerkkitapauksessa valkaisun vaikutuksesta tapahtuva kosteuden nousu sekä massan ominaisuuksien muutos laski irrotuskohtaa samanaikaisesti, kun radan kosteus alkoi muuttumaan 60 g/m² paperilla. Pian tämän jälkeen seuranneessa katkossa viiran nopeutta laskettiin. Samalla laskettiin vetoeroa suhteellisesti enemmän kuin viiran nopeutta. Tämän johdosta irrotuskohta laski hieman alemmaksi, mutta palasi takaisin lähtötilanteeseen. Nopeuden muutos sekä vetoeron muutos vaikeuttavat irrotuksen tulkintaa. On mahdollista, että irrotus muuttui vain hetkellisesti ja palasi normaalitilanteeseen. Myös massaosuuksia muutettiin siten, että siistatun massan annostelu lopetettiin 5 %:sta ja korvattiin hiokkeella. Myös tämä on saattanut aiheuttaa irrotuskohdan muutoksia. Valkaisu ei tämän seurantajakson perusteella vaikuta merkittävästi irrotukseen. Kuvaajat ovat liitteessä 11.

Ditioniitin annostelu näkyi muutenkin prosessissa. Tutkimuskohteena olevalla koneella ditioniittivalkaisu suoritettiin optimiolosuhteita (6–6,5) alemmassa pH:ssa

(5,3), joten reaktiotuotteina syntyi pH:ta alentavia yhdisteitä. Lisäksi massan johtokyky nousi selvästi ditioniitin annostelun johdosta. Muutokset levisivät kiertoveden kautta koko prosessiin. Koska sekä johtokyky että pH vaikuttavat saostumiseen ja liukenemiseen, niiden vaihtelu ditioniitin johdosta oli potentiaallinen häiriö- ja saostumalähde. PH-vaihtelun aiheuttama saostuminen saattaa tapahtua esimerkiksi kiertovesitornissa tai massan laimennuksessa, jolloin häiriön viiveitä on vaikea määrittää ja syy on usein siksi tuntematon. Kuvaajat ovat liitteessä 11.

7.5.2. Retentio

Retention vaihtelu vaikutti selvästi radan kosteuteen. Vaihtelu oli kuitenkin niin vähäistä, että se ei vaikuttanut selvästi vetoeroon. Irrotuskohta vaihteli joissakin kohdissa retention mukaisesti, mutta retention ja kosteuden välistä eroa oli vaikea määrittää. Koneen nopeus vaikutti selvästi retentioon, samoin myös neliömassa (liite 12). Tulokset ovat tässä suhteessa oletetun mukaisia. Esimerkkitapauksessa radan kosteus noudatti retentiota jakson alkuosassa. Ditioniitin annostelu muutti tilannetta siten, että retention laskusta huolimatta kosteus lisääntyi. Syynä oli todennäköisesti aiemmin mainittu hiokkeen vedenpoiston heikkeneminen orgaanisen liuenneen aineen määrän kasvaessa. Nopeuden lasku lisäsi retentiota selvästi, mutta kosteus ei lisääntynyt tämän johdosta. Liitteen 12/3(4) tapauksessa retention vaihtelu muutti radan kosteutta, mutta irrotuskohdassa muutos ei ollut selvä. Retentiovaihtelu aiheutui ilmeisesti hioke- ja selluvirtauksen vaihtelusta. Tämän johdosta kuitu/täyteainesuhde vaihteli viiralla. Katkon jälkeen vetoeroa lisättiin, mutta nosto ei muuttanut irrotuskohtaa.

Tutkimuskohteena olleen koneen lyhyt kierto huojuu ajoittain johtuen ilmeisesti säädön aiheuttamasta täyteainevirtauksen muutoksesta. Tämän johdosta perälaatikon sakeus, viiraveden sakeus, retentioaineen annostelu sekä paperin tuhkapitoisuus huojuivat. Tämä ei kuitenkaan vaikuttanut selvästi radan kosteuteen tai vetoeroon. Osa irrotuskohdan muutoksista saattoi kuitenkin johtua lyhyen kierron huojuunnasta, lähinnä paperin tuhkapitoisuuden muuttuessa. Koska tuhkapitoisuus

vaihteli enimmillään yli prosentin (mittaus 20 sekunnin poikkiratakeskiarvo), saattoi paperin todellisen tuhkapitoisuuden vaihtelu olla jopa kaksinkertainen. Tämän johdosta osa katkoista on saattanut aiheutua korkean tuhkapitoisuusmaksimin aiheuttamasta radan lujuuden laskusta. Tutkimuskohteen kokonaisretentio oli erittäin alhainen verrattuna muihin paperikoneisiin. Retention kohottaminen saattaisi vähentää koneen likaantumista ja samalla helpottaa myös puristinosan ajettavuutta. Kuvaajat ovat liitteessä 12.

7.5.3. PH:n vaikutus

Seurantajakson aikana mekaanisen massan pH-tasoa nostettiin, jotta pH olisi ditioniittivalkaisun kannalta lähempänä optimiolosuhteita. Tämän johdosta pH:n asetusarvoa nostettiin 5,5:stä 5,8:aan ja myöhemmin 6,2:een. Vetoero laski saman päivän aikana huomattavasti vakionopeudessa, kun pH-tasoa nostettiin. Vetoerotason laskulle ei löytynyt muita selittäviä tekijöitä. Vetoero kasvoi hieman, kun pH:ta nostettiin seuraavan kerran. Tällöin oli tosin viiveen pituus oli suurempi ja muutos oli selvästi pienempi. PH-muutoksen ja vetoeron yhtenevyys saattaa olla sattumaa. Toisaalta laboratoriotutkimuksissa /61/ on havaittu, että irrotuksella on optimikohtia pH:n funktiona. Optimi-pH:n suuruus riippuu kulloisistakin massojen ja kiertoveden ominaisuuksista. PH:n vaikutusta olisi syytä tutkia lisää, jotta saadaan luotettavampia tuloksia. Seurantajakson aikana tehty havainto ei ole riittävän luotettava johtopäätösten tekemiseksi. Kuvaajat ovat liitteessä 13/1(5).

Seurantajakson korkein vetoero 3,92 % oli 9.–11.7., jolloin irrotuskohta oli korkeasta vetoerosta huolimatta suhteellisen alhaalla. Jakso oli noin 1–2 päivää pickup-huovan vaihdon jälkeen. Huopa ei toiminut tällöin vielä kunnolla, mutta välittömästi huovan vaihdon jälkeinen vetoero oli 3,6–3,7 %. Eli huolimatta jo paremmin toimivasta huovasta vetoero kasvoi suuremmaksi. Vaikein jakso oli 9. päivän yövuoron ja 10. päivän aamuvuoron välillä. Kuvaajat ovat liitteessä 13/2(5).

Kaavarien terät vaihdettiin 9.7. iltavuorossa. Tämä näkyy kuvaajissa katkona. Samalla pestiin puristinosaa. Terien vaihdon syynä oli osittain keskitelalla esiintynyt nyppiminen. Yövuorossa pestiin IV-puristinta. Keskitelalla esiintyi rynkkyä 10.7. aamuvuorossa, jolloin myös vetoero oli korkea ja irrotuskohta oli melko alhaalla. Kaavarin runko ja kaavarin terät tärisivät oskilloinnin tahdissa, jolloin kaavari päästi todennäköisesti likaa läpi. Tämä näkyy reikämittauksessa siten, että kaavariterien vaihdon jälkeen reikien määrä on hieman alempi, mutta alkaa lisääntymään voimakkaasti. Reikien lisääntyminen on osittain odotettua, jos kaavari päästää likaa läpi. Tässä tapauksessa lika on saattanut olla pihkaa, koska uudet terät eivät pystyneet kaapimaan telan pintaa puhtaaksi, vaan tarttuivat lyhyiksi jaksoiksi telaan kiinni aiheuttaen tärinää.

Jakson aikana molempien reikäryöppyjen aikana hyllyn pH laski voimakkaasti. Myös konesäiliön pH laski ilmeisesti tämän seurauksena. Molemmissa tapauksissa myös perälaatikon COD-pitoisuus laski noin 200:aan mg/l. Normaali taso on kyseisellä koneella noin 300 mg/l. PH:n ja COD-pitoisuuden lasku viittaavat siihen, että laskeva pH aiheutti orgaanisen liuenneen ja kolloidisen aineen saostumista, jolloin reikien määrä paperissa lisääntyi ja puristinosalla esiintyi läpilaskua ja likaantumista. PH-muutosten syy ei ole selvillä, mutta eräs syy saattaa olla ditioniitin annostelu hylkyyn vaaleuden nostamiseksi. Myös hylkyrullien pulperointi on saattanut laskea hyllyn pH:ta. PH:n lasku ei ole välttämättä aiheuttanut saostumia, mutta reikien esiintyminen ja pH:n lasku ovat ajallisesti yhteensopivia. Myös pickup-huovan vaihdon aikana tapahtunut lämpötilan lasku on saattanut olla osasyllinen tilanteen vaikeutumiselle aiheuttaen saostumista. Reikäryöppyjen aikana valmistuneista rullista osa hylättiin superkalanterin reikäilmaisimen perusteella. Nämä rullat on merkitty kuvaajaan.

Jakson aikana COD-mittauksen luotettavuutta tarkkailtiin laboratoriomittauksilla. Dikromaattimenetelmällä laboratoriossa tehty COD-määrittäminen nousi 8.7. tehdyssä mittauksessa tasolta 600–800 mg/l tasolle 900–1000mg/l (liite 13/3(5)). Samaan aikaan alkoi esiintymään myös irrotusvaikeuksia. Online-mittauksen tasoero kasvoi jakson loppuosalla verrattuna laboratoriomittaukseen. Tämän johdosta

online-mittaus oli luotettava vain lyhytaikaisia tasomuutoksia seurattaessa. Tulosten perusteella näyttäisi siltä, että COD-pitoisuuden kasvu vaikeutti irrotusta puristinosalla. Syynä saattaa olla kohonneen orgaanisen aineen pitoisuuden aiheuttama lisääntyvä saostuminen, mikä johtaa likaantumiseen myös puristinosalla. Erityisesti pihkan saostuminen saattaa aiheuttaa huomattavia vaikeuksia. COD-pitoisuuden nousun syynä saattoi olla varastopuun/tuorepuun osuuksien muuttuminen, koska loppujaksolla esiintyi enemmän myös hienoaaineosuuden ja tikkupitoisuuden muutoksia. Varastopuuta alettiin käyttämään juhannusseisokin jälkeen. Tehtaalla ei tiedetty päivittäistä osuuden vaihtelua, joten muutokset olivat melko sattumanvaraisia.

COD-mittaus tehtiin sekä laboratoriossa että koneella online-mittauksena keraamiputken läpi valuneesta suodoksesta. Tällä tavalla suodatetusta näytteestä jää pois kaikkein pitkäketjuisin orgaaninen aines, mikä on herkintä saostumaan. Ero sentrifugoimalla erotettuun näytteeseen on keskimäärin 20 % pienempi /62/. Lisäksi permanganaattimenetelmällä tehdyssä määrittäksessä kaikki orgaaninen aines ei aina hapetu, kun taas dikromaattimenetelmällä tehdyssä määrittäksessä orgaaninen materiaali hapettuu. Tämä saattaa olla osasyynä laboratoriossa tehtyjen määrittäysten väliseen eroon. Tästä johtuen voi olettaa, että koneella suoritettu online-määrittäys on ollut vain suuntaa antava menetelmä.

PH:n ja reikien yhteys on myös muiden havaintojen perusteella todennäköinen. PH:n lasku ei aina aiheuta saostumista ja kaikki reiät eivät aiheudu liasta ja saostumista. PH:n laskusta ja reikien lisääntymisestä saadut havainnot ovat kuitenkin melko luotettavia (liite 13/5(5)). Koneen kiertovedessä oli kalsiumia vähän, mutta yhdessä reikäryöpyssä kalsiumin pitoisuus oli tavanomaista korkeampi (liite 13/4(5)). Myös silikaatin pitoisuus kasvoi johtuen siistausmassan peroksidivalkaisusta. Korkeampi kalsiumpitoisuus johtui suuremmasta siistausmassan osuudesta (liite 13/5(5)). Jakson alkuosalla oli kaksi pienempää reikäryöpyä, kun siistausmassan osuus oli suurempi. Yhteys saattaa olla sattumanvarainen. Koneella ollut kalsiumtaso vastaa luonnonvesistä tulevaa kalsiummäärää /62/, joten kalsium ei ollut pääasiallinen saostumanaiheuttaja tutkimuskohteessa.

7.5.4. Kiertoveden kemiallisen tasapainon muutos

Jakson loppuosalla pääasiassa huovanvaihtojen ja mekaanisten vikojen johdosta kiertovesivarasto kului lähes loppuun. Tämän johdosta koneen kiertovesivarastoja täydennettiin viereisen koneen kiertovedellä. Kiertoveden pH ja pihkapallojen lukumäärä olivat viereisellä koneella lähes samansuuruiset kuin tutkimuskohteena olleella koneella. Kiertovesitäydennyksen johdosta silikaattipitoisuus nousi 30:stä mg/l 50:een mg/l johtuen viereisellä koneella käytetystä peroksidivalkaisusta. Tunteamattomasta syystä täydennysvesi muutti tutkimuskohteena olleen koneen kemiallista tilaa. Kiertovedestä saostui pihkaa siten, että uusi viira jouduttiin pesemään käyntiinlähdössä sen aiheuttamien reikien johdosta. Saostumisen syynä saattoi olla TMP:n käytöstä johtuva korkeampi COD-pitoisuus viereisellä koneella. Pihkan saostuminen havaittiin myös pihkapallojen lukumäärän lisääntymisenä perälaatikossa 7–8-kertaiseksi 50–100*10⁶:sta 450*10⁶:een. Kuvaajat ovat liitteessä 14.

Seisokin aikana mekaanisen massasäiliön pH nousi yli kuuden. Normaalisti pH laskee seisokissa johtuen massan pH:n hitaasta tasoittumisesta. PH:n nousu johtui todennäköisesti lipeävirtauksesta myös seisokin aikana, koska lipeän syöttö oli tähän syöttöpisteeseen käsisäädöllä. PH:n nousu on todennäköisesti liuottanut lisää pihkaa mekaanisesta massasta, mikä on saattanut olla osasyynä pihkavaikeuksiin. Tulokset osoittavat kuinka tasapainotilojen äkilliset muutokset voivat aiheuttaa haitallisia saostumia. Tämän johdosta prosessin hallinta on tärkeää koko prosessin alueella. Erityisesti tämä koskee pH:ta, lämpötilaa, sakeuksia ja eri kemikaalivirtauksia.

Irrotuksessa ei tapahtunut selvää heikkenemistä, koska viiran vaihto aloitettiin irrotusvaikeuksien aikana. Vetoero on hieman pienempi kuin ennen viiran vaihtoa. Syynä saattaa olla puristinosan pesut, jolloin telat ovat puhdistuneet. Viirat pestiin uudelleen pihkalian johdosta 13.7. iltavuorossa. Koko jakson ajan 9.7. alkaen puristinosalla esiintyi likaantumista, nyppimistä sekä päänvientivaikeuksia. Vetoero oli korkealla tasolla. Irrotus oli jakson aikana epätasaista. Kokemusten

perusteella prosessin tasapainon häiriintyminen voi aiheuttaa pitkään jatkuvia vaikeuksia ennenkuin uusi tasapainotila asettuu.

Reikien määrä oli erittäin runsas seurantajakson loppuosalla. Osa rei'istä aiheutui mekaanisista vioista viiroissa ja huovissa. Ne näkyvät suurina maksimeina reikämittauksessa. Kuitenkin osalle rei'istä ei ole selvää selittäjää. Reikien määrän lisääntyessä perälaatikon COD-pitoisuus laski samanaikaisesti. Syynä saattoi olla liuenneen ja kolloidisen orgaanisen aineksen saostuminen, jolloin COD-pitoisuus laskee ja reikien määrä kasvaa saostumien johdosta. Jakson alussa COD-pitoisuus nousi 200:sta mg/l noin 300:aan mg/l, koska juhannusseisokin jälkeen kiertovesi oli puhdasta. Kun reikiä ei esiintynyt, COD-pitoisuus oli normaalisti noin 300 mg/l. Tuloksien luotettavuutta heikentää laboratoriomittauksien ja online-mittauksien väliset erot seurantajakson loppuosalla. Kuvaajat ovat liitteessä 14/3(3).

7.6. Matemaattiset tulkinnat

WEDGE:n matemaattisia työkaluja, ja etenkin monikanavaista aikasarja-analyysiä voidaan käyttää tilanteissa, joissa mittausaineisto on suhteellisen tasaista. Eli minimin ja maksimin välinen ero ei ole lyhyellä aikavälillä suuri. Tämän johdosta esimerkiksi online-freenessmittaus ei sovellu hyvin analyysin suorittamiseen porrasmaisen muotonsa ja viiveiden johdosta. Matemaattisia työkaluja ei voinut käyttää irrotuksen tutkimiseen, koska irrotusta ei voinut muuttaa matemaattisesti yhdeksi muuttujaksi ja koska WEDGE:een ei voinut syöttää manuaalisesti dataa. Ongelmana oli lisäksi se, että vetoeroja tallennettiin absoluuttisena nopeuserona m/min, jolloin korrelaatio viiran nopeuden kanssa oli erittäin suuri. Tämän johdosta myöskään vetoeron suhteen ei voitu laskea kohinakontribuutioprosentteja.

Kohinakontribuutioita pystyttiin laskemaan kosteusmittarin antaman datan suhteen. Analysoitavasta aikajaksosta riippuen saatiin erisuuruisia selitysprosentteja eri muuttujille. Tilanne on todellisuudessa myös samankaltainen paperikoneella, koska kosteusvaihtelut saattavat aiheutua useista eri muuttujista. Selvästi useimmissa

jaksoissa kosteusvaihtelun suurimmaksi selittäjäksi saatiin annosteluhiokkeen virtaus. Tämä on looginen tulos, koska se vaikuttaa radan vedenpoistoon ja tiiveyteen merkittävästi. Selitysaste vaihteli alle 10 %:sta yli 60 %:iin. Myös tuhkapitoisuudelle ja sellun virtaukselle sekä eri komponenttien freeneksille saatiin merkittäviä selitysasteita joissakin analysoitavissa jaksoissa. Koska kosteus on vain osaselittäjä irrotusmuutoksissa, ei analyysijä voitu käyttää irrotusvaihtelujen selvitykseen.

Taulukko 6. Esiemerkki kohinakontribuutiomatriisista. Matriisia tulkitaan siten, että kunkin sarakkeen muuttujan vaihtelua selittää vaakarivin muuttuja sarakkeen osoittaman prosenttien osuudella

2.7. klo 20.36 - 3.7. klo 2.27						
	model prosentit					
	Nelliöm2	Tuhka	Kost_rata	Ret	AnnHio_virt	Sel_virt
	0.1684	0.1732	0.3604	0.2832	56.69	25.04
Nelliöm2	60.72	1.47	0.37	0.38	0.15	0.17
Tuhka	3.59	45.96	6.55	4.70	6.21	14.80
Kost_rata	19.10	5.04	20.29	5.98	3.13	8.49
Ret	0.21	2.97	1.71	70.63	0.30	0.30
AnnHio_virt	12.53	34.64	63.20	15.10	87.23	49.52
Sel_virt	3.85	9.92	7.89	3.20	2.99	26.72

7.7. Tulosten merkitysten ja luotettavuuden arviointi

Märkäosan kemian monimutkaisuudesta sekä puutteellisten mittausmahdollisuuksien johdosta kemiallisen tilan tulkinta sisältää aina virhemahdollisuuksia. Lisäksi jokainen paperikone on oma kokonaisuutensa riippuen raaka-aineista, kemikaaleista, prosessiolosuhteista sekä prosessilaitteista. Tämän johdosta yhdellä koneella havaittuja riippuvuuksia ei voi soveltaa aina suoraan toiseen prosessiin. Kemialliset reaktiot tapahtuvat pääosin samalla tavalla, joten karkeat pääsäännöt pätevät myös muilla paperikoneilla.

Irrotuksen vertailuun vaikuttaa kemiallisen tilan lisäksi raaka-ainekoostumus ja puristinosan geometria. Eroavaisuuksien johdosta havaittujen muuttujien merkitys tai suuruusjärjestys saattaa olla paperikoneiden välillä erilainen. Lisäksi eri

muuttujien yhteisvaikutuksesta johtuen saman muutoksen vaikutus saattaa olla erilainen lähtötilanteesta riippuen. Tästä johtuen sama muuttuja voi vaikuttaa vastakkaisesti riippuen muista vaikuttavista tekijöistä.

Kosteuden merkitys on seurantajakson perusteella pienempi kuin haastattelun mukaan. Kosteusmuutosten mittaus oli kuitenkin luotettava kosteusmittarin ja höyrynkulutuksen mittauksen avulla. Tulosten väliseen eroon saattaa olla syynä raaka-ainekoostumus tai erot prosessiolosuhteissa. Kosteus vaikutti myös tutkimuskohteessa irrotukseen, mutta vaikutus oli oletettua pienempi. Höyrylaatikon vähäisen merkityksen selittää radan lujuuden lasku lämpötilan kohotessa. Hiokkeen freenoksen muutokset eivät myöskään aiheuttaneet suuria muutoksia irrotuksessa. Kosteus muuttui selvästi freenoksen muuttuessa. Ilmeisesti myös tässä tapauksessa muutokset ovat vastakkaisia. Pickup-huovan vaihto vaikeutti irrotusta selvästi. Vaikutus oli yllättävän suuri verrattuna muiden huopien aiheuttamaan muutokseen. Tämä voi johtua pickup-huovan suuresta osuudesta puristinosan vedenpoistoon. Syynä saattaa olla osaksi myös pihkavaikkeudet, koska pian huovanvaihdon jälkeen irrotus vaikeutui selvästi. Syynä oli hyvin todennäköisesti pihkan saostuminen telan pintaan.

Koejakson perusteella muiden muuttujien merkitys oli tutkimuskohteessa melko pieni, vaikka muutoksia irrotuksessa havaittiinkin. Syynä ovat todennäköisesti suhteellisen pienet muutokset, jolloin myöskään irrotuksessa ei tapahdu suuria muutoksia. Tämä ei kuitenkaan merkitse sitä, että niillä ei ole merkitystä. Toisissa olosuhteissa tai isommissa muutoksissa niiden merkitys saattaa olla suurempi.

Irrotusvaikeudet olivat suurimmillaan, kun kemiallisessa tilassa tapahtui muutoksia. Tämä viittaa siihen, että puun uuteaineiden merkitys on erittäin suuri nk. selittämättömissä irrotusmuutoksissa. Samaa johtopäätöstä tukee myös työn aikana kerätyt käytännön kokemukset. Kemiallisen tilan muutokset näkyvät pH:n, johtokyvyn ja COD-pitoisuuden muutoksina sekä reikien lisääntymisenä. PH-tason vaikutuksia on syytä tutkia lisää, jotta pH:n vaikutuksista tehdyt havainnot voidaan varmistaa ja vaikutusmekanismien tuntemus lisääntyy.

Kemiallisen tasapainon muutoksien ja etenkin uuteaineiden merkitys on erittäin suuri irrotusvaikeuksien aiheuttajina. Myös muilla muutoksilla on vaikutusta irrotukseen, mutta niiden merkitys ei ole ajettavuuden kannalta vastaavan suuruisen. Nekin saattavat aiheuttaa ajettavuusvaikeuksia, kun useamman muuttujan yhteisvaikutukset ovat irrotuksen suhteen samanaikaisesti haitallisia. Myös kemiallisen tasapainon muutoksien vaikutus saattaa olla riippuvainen muiden muutoksien yhdysvaikutuksista, esimerkiksi kosteudesta, lujuudesta ja freeneksestä.

Tutkimuksesta saatujen tulosten perusteella paperikoneiden ajotavoissa tulisi huomioida enemmän märkäosan kemiallisen tasapainon säilyttäminen. Tällöin välttyään ainakin osittain tasapainotilojen muutoksien aiheuttamilta ajettavuushäiriöiltä. Muutoksia aiheutuu myös raaka-aineen laadun vaihteluista sekä prosessin ominaisvedenkulutuksen pienentymisestä. Tällöin hallintaa voidaan parantaa pienentämällä tai tasaamalla LK-aineiden pitoisuutta kiertovedessä, jolloin prosessin herkkyyt häiriöille vähenee. Ensimmäiset toimenpiteet voivat olla massanvalmistuksen vesien erotusasteen nostaminen, massan pesu tai kemialliset apuaineet. Tekniikoiden kehittyessä myös erilaiset sisäiset puhdistuslaitteet voivat olla ratkaisuna kiertovesien puhdistukseen.

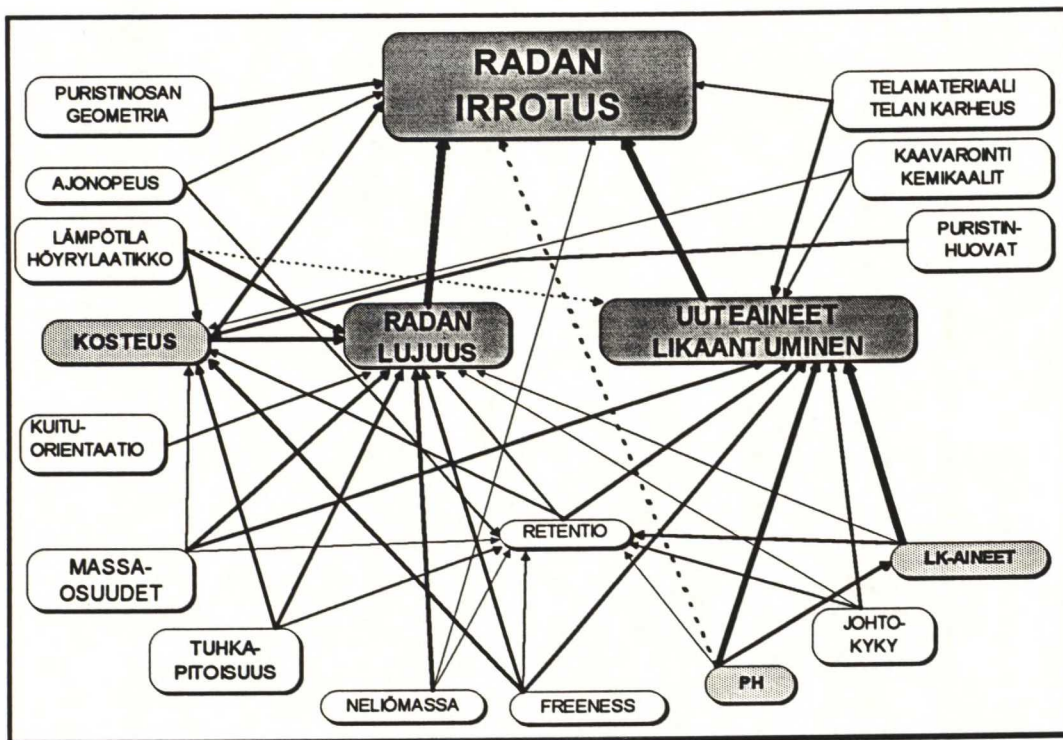
Konevalmistajan kannalta tuloksien perusteella olisi edullista löytää sellaisia pintamateriaaleja tai pintaominaisuuksia, jotta uuteaineiden tarttuvuus telan pintaan vähenee. Käytännössä tämä tarkoittaa mahdollisesti hydrofiilisemmän pinnan kehittämistä. Toisaalta rajoittavaksi tekijäksi muodostuu hydrofiilisemmän pinnan kasvattama adheesiotyö, jolloin pintaominaisuuksia täytyy optimoida tarpeen mukaan eri tarkoituksiin. Lisäksi likaantumiseen vaikuttavia pintakemiallisia ilmiöitä täytyy tutkia lisää, jotta vaikuttavia mekanismeja tunnettaisiin paremmin.

Jatkotutkimuksia ajatellen käytetty koejärjestely oli kohtuullisen hyvä irrotuksen seurantaan. Käytännön kannalta olisi hyödyllistä, jos vetoero ja irrotuskohta voitaisiin muuttaa yhdeksi muuttujaksi. Prosessin seurannassa on järkevää käyttää

KCL WEDGE:ä tai vastaavaa järjestelmää, koska eri muuttujien kerääminen on käytännössä mahdotonta nykyisistä tehdasautomaatiojärjestelmistä. Märkäosan seurannassa tulisi seurata ainakin LK-aineiden määrää esimerkiksi COD-mittauksella, sekä johtokykyä suolojen määrän seuraamiseksi. Jos vesijärjestelmässä on paljon moniarvoisia kationeja, voi yksittäisten kationien määrän seuraaminen antaa hyödyllistä tietoa märkäosan ilmiöistä. PH:n seurantaa ja säätöä pitää tehostaa, koska se on tulosten perusteella usein keskeinen tekijä häiriötilanteissa. Vastavainlainen seurantajakso olisi hyödyllistä suorittaa myös toista paperilajia valmistavalla paperikoneella, jotta saataisiin selville onko eri muuttujien välinen järjestys selvästi erilainen.

8. IRROTUKSEN MONIMUUTTUJA-ANALYYSI

Radan irrotukseen vaikuttavien oleellisimpien tekijöiden vuorovaikutukset voi esittää kuvan 20 monimuuttuja-analyysin mukaan. Vuorovaikutuksia tarkasteltaessa on huomioitava, että vaikutus voi olla sekä irrotusta helpottava että vaikeuttava riippuen muiden tekijöiden yhdysvaikutuksista tai lähtötilanteesta. Esimerkiksi korkea vetoero ei aina aiheuta ongelmia, mutta jos radan lujuus on jostakin syystä huono, samansuuruinen vetoero voi aiheuttaa runsaasti katkoja.



Kuva 20. Monimuuttuja-analyysi radan irrotukseen vaikuttavista tekijöistä sekä niiden vuorovaikutuksista.

9. YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli selvittää paperikoneen märkäosan toiminnan vaikutuksia radan irrotukseen puristinosan teloilta. Työ perustui sekä haastatteluihin että eräällä koneella tehtyyn tutkimukseen.

Radan irrotukseen vaikuttaa adheesion kautta kemiallisia ja fysikaalisia tekijöitä sekä irrotustapahtumassa myös dynaamisia tekijöitä. Eri tekijöiden merkitys vaihtelee koeolosuhteiden mukaan. Haastattelututkimuksen perusteella tärkeimmät irrotukseen vaikuttavat tekijät ovat raaka-aineiden ja radan ominaisuudet ja etenkin jauhatusaste. Kokemusten mukaan myös radan kuiva-ainepitoisuus on eräs tärkeimmistä muuttujista. Kuiva-ainepitoisuuteen vaikuttavista tekijöistä tärkeimpiä ovat freeness, puristinhuovat, höyrylaatikko/massan lämpötila, retentio, tuhkapitoisuus sekä raaka-aineet. Kemiallisten tekijöiden merkitystä ei vielä

tunnetta, mutta niillä uskotaan olevan häiriötilanteissa suuri merkitys. Lisäksi koneen rakenteellisilla tekijöillä, kuten telamateriaaleilla, kaavareilla ja puristinosageometrialla on suuri merkitys koneen ajettavuuteen.

SC-paperia valmistavalla koneella tehdyn irrotustutkimuksen mukaan radan lujuusominaisuudet vaikuttavat irrotukseen. Massaosuuksien merkitystä ei kyetty selvittämään, mutta neliömassa sekä tuhkapitoisuus vaikuttivat irrotukseen. Myös radan kuiva-ainepitoisuudella oli vaikutusta irrotukseen, mutta vaikutus oli tutkimuskohteessa oletettua pienempi. Tuloksien perusteella radan lujuuden ja kosteuden muutokset aiheuttavat muutoksia irrotuksessa. Yksittäiset vaikutukset eivät ole yleensä ajettavuutta ratkaisevasti rajoittavia. Yhdysvaikutusten kautta myös nämä tekijät saattavat aiheuttaa ajettavuusvaikeuksia. Tuloksiin vaikuttaa myös se, että muutokset olivat tutkimuskohteessa pieniä, jolloin niiden vaikutus katoaa "kohinaan".

Selvimmän irrotusta vaikeutti kiertovedessä olleen orgaanisen materiaalin määrän kasvu ja etenkin sen saostuminen puristinpinnoille. Koejakson aikana korkein vetoero oli samanaikaisesti korkean COD-pitoisuuden ja puristinosalla esiintyneiden irrotusvaikeuksien yhteydessä. Kaavarin tärinöistä ja paperissa esiintyneistä rei'istä päätellen irrotusvaikeudet aiheutuivat pihkan aiheuttamasta likaantumisesta. Viereisen koneen kiertoveden käyttö täydennysvetenä muutti tutkimuskoneen kemiallista tasapainoa siten, että pihkaa saostui erityisesti viiroihin. Tulosten perusteella selvästi eniten ajettavuutta häiritsee liunneen ja kolloidisen aineksen saostumisen aiheuttama telapintojen likaantuminen. Saostumisen lauettua ongelmat voivat jatkua pitkään, ennenkuin tilanne saadaan jälleen hallintaan. Tulokset pätevät erityisesti puupitoisten paperien valmistuksessa. Hienopapereilla massasta liukenevat määrät ovat huomattavasti alhaisempia, jolloin ongelmat saattavat olla erityyppisiä.

PH:n vaikutuksesta saatiin tulos, joka viittaa mahdollisiin irrotusoptimeihin pH:n funktiona. Tulokset eivät ole pH:n suhteen kuitenkaan riittävän luotettavia, joten jatkossa on syytä tutkia pH:n merkitystä irrotuksen suhteen syvällisemmin.

LÄHDELUETTELO

1. *NEIMO, L.*, Rainan adheesio telamateriaaleille. Kirjallisuuskatsaus. Espoo 1992. KCL Paper Science Centre, PSC Communications 39. 43 s.
2. *EBELING, K.*, Määrän rainan irrotus ja siirto. Paperin valmistus. Toim. A. Arjas. Julk. SPIY/TTA. Helsinki 1983. s. 607–622.
3. *MARDON, J.*, Theoretical and experimental investigations into the peeling of webs from common press roll cover materials. Paperi ja Puu 58(1976)11, s. 797.
4. *ÖSTERBERG, L.*, Paper web take-off from press rolls. Svensk Papperstidning 65(1962)6, s. 222.
5. *PYE, I., T., DAUNAIS, R., BATTY, R., C.*, Study of a newsprint web in the open draw after the press section. Journal of Pulp and Paper Science 11(1985)5, s. J145–J149.
6. *SHALLHORN, P., M., KARNIS, A.*, The mechanism of picking at the presses of a papermachine. 61st Annual Meeting of CPPA Montreal. CPPA Montreal Canada 1975. s. 127 – 132.
7. *OLIVER, J., F.*, Adhesive film properties affect web adhesion and release from press rolls. TAPPI 65(1982)3, s.119 – 123.
8. *MARDON, J.*, A comparative study of the peeling of paper webs from common press roll cover materials. Paperi ja Puu 61(1976)5, s. 402 – 410.
9. *RADVÁN, B., O'BLENENS, G.*, Principles of adhesion on a paper machine. Tappi 42(1959)12, s. 921 – 927.

10. *WAHREN, D.*, Stability of webs in open draws. Annual Meeting of CPPA, 2.-3.2. 1989, Montreal. Preprints CPPA Montreal 1989, s. B19 -B33.

11. *PIKULIK, I., I., McDONALD, J., D., AİTCIN, P.-C.*, The release of wet paper from novel press roll materials. Pulp and Paper Canada 94(1993)4, s. T108 - T113.

12. *OLIVER, J., F.*, Adhesive film properties affect web adhesion and release from press rolls. Tappi 65(1982)3, s. 119 - 123.

13. *McDONALD, J., D., PIKULIK, I., I., DAUNAIS, R.*, On-machine stress-strain behaviour of newsprint. Journal of Pulp and Paper Science 14(1988)3, s. J53 - J58.

14. *JANTUNEN, J.*, Paperin mekaaniset ominaisuudet ja ajettavuus. Kuitu- ja paperifysiikka Puu-21.118. Paperitekniiikan laboratorion opetusmoniste. Espoo 1990. VI 30 s.

15. *MARDON, J.*, The release of wet paper webs from various "papermaking surfaces". Appita 15(1961)1, s. 14 -34.

16. *PIKULIK, I., I.*, Granite roll failures in Canada. Pulp and Paper Canada 89(1988)3, s. 143 - 149.

17. *JACOB, P., N., BERG, J., C.*, Contact angle titrations of pulp fiber furnishes. Tappi Journal 76(1993)5, s. 133 - 137.

18. *HAIDENTHALER, K., GAMSJÄGER, N., REICHEL, W.*, Ist der Naturstein Granit als Walzenbezug in der Papierindustrie noch erforderlich? Das Papier 44(1990)10A, s. V143 - V155.

19. *BUTTERFIELD, W., S.*, Composite release cover developments – past, present and future. TAPPI 1991 Engineering Conference. Boston, MA, September 14 – 17, 1992. Julk. TAPPI PRESS. Atlanta, GA 1992. s. 935–951.
20. *BACK, E., L., ANDERSSON, L., I.*, The effect of temperature on wet web strength properties. Tappi Journal 76(1993)5, s. 164 – 172.
21. *SUGURI, M., YAMADA, K., NANDATE, M.*, Study on artificial granite roll with improved releasing ability for wet paper (Part 1). Japan Pulp & Paper 21(1983)2, s. 77 – 84.
22. *VESTOLA, J., NISKANEN, J., VÄHÄPESOLA, J.*, Granite rolls: Failures, their prevention and substitute materials. Pulp and Paper Canada 91(1990)6, s. 100 – 104.
23. *WATANABE, A., PARISIAN, J., VAN DOREN, S.*, Granite roll replacement. TAPPI 1990 Papermakers Conference. Atlanta, Georgia, April 23 – 25, 1990. Julk. TAPPI PRESS. Atlanta, GA 1990. s. 87 – 91.
24. *ERICSSON, H., M.*, Substitutes for granite rolls. XXIV EUCEPA Paper Technology Conference. Stockholm, Sweden, May 8 – 11, 1990. Julk. EUCEPA. Stockholm, Sweden 1990. s. 101 – 117.
25. *MOORE, R., R., PERRELL, R., B.*, Synthetic resin composite covers for granite roll substitutes. TAPPI 1991 Engineering Conference. Nashville, TN, September 30 – October 3, 1991. Julk. TAPPI PRESS. Atlanta, GA 1991. s. 247 – 251.
26. *SWF-TUOTETIETO*. Stowe Woodward Finland.
27. *BUTTERFIELD, W., S.*, Evolution of composite covers for release rolls in the press section. Tappi Journal 76(1993)4, s. 117 – 124.

28. *REUDINK, B., FOX, J.*, Mill cuts draw, sheet break with new easy-release ceramic press roll cover. *Pulp and Paper* 67(1993)1, s. 107 – 109.
29. *VESTOLA, J.*, Haastattelu. Valmet Paper Machinery, Jyväskylä 14.2.1994.
30. *STOWE WOODWARD FINLAND*. Tiedustelu ja referenssiluettelo. 16.2.1994.
31. *SCAPA KERN*. Tiedustelu ja referenssiluettelo. 16.2.1994.
32. *NAZIR, B., A., CARNEGIE-JONES, J.*, Optimising wet-end chemistry – the practicalities. *Paper Technology* 32(1991)12, s. 37 – 41.
33. *TARHONEN, P., RANTALA, T., KOIVO, H., N.*, Retention hallinta on-line säädöllä. INSKO 1993 Paperikoneen märkäosan kemia ja sen hallinta. Helsinki, 3.–4.11.1993. Julk. Insinöörien Koulutuskeskus. Helsinki 1993. VIII, 26 s.
34. *KAARRE, T.*, Retentionsäädön hyödyllisyys hienopaperikoneella. INSKO 1991 Paperikoneen märkäosan hallinta. Porvoo, 3.–4.12.1991. Julk. Insinöörien Koulutuskeskus. Helsinki 1991. XI, 31 s.
35. *NEIMO, L.*, Paperikemia. Opetusmonisteet, syksy -91. Otapaino
36. *STENIUS, P.*, Kiertoveden kolloidit. INSKO 1992 Suljetut vesikierröt. Kouvola, 8.–9.10.1992. Julk. Insinöörien Koulutuskeskus. Helsinki 1992. IIIb, 13 s.
37. *NUORTILA-JOKINEN, J.*, Paperikoneen kiertovesien sisäinen puhdistus. INSKO 1993 Paperikoneen märkäosan kemia ja sen hallinta. Helsinki, 3.–4.11.1993. Julk. Insinöörien Koulutuskeskus. Helsinki 1993. XI, 26 s.
38. *GELLER, A., GOTTSCHING, L.*, Closing water systems completely in the Federal Republic of Germany. *Tappi Journal* 65(1982)9, s. 97.

39. *EKMAN, R., ÖRSÄ, F.*, Liuenneiden ja kolloidaalisten (LK-) aineiden ja sulkemisen vaikutuksia määränpään kemiaan. INSKO 1991 Paperikoneen märkäosan hallinta. Porvoo, 3.-4.12.1991. Julk. Insinöörien Koulutuskeskus. Helsinki 1991. IX, 17 s.
40. *ÖRSÄ, F., HOLMBOM, B.*, Case 1: Rauman Paperin PK 2:lla sulkemisen yhteydessä suoritettuja tutkimuksia. INSKO 1991 Paperikoneen märkäosan hallinta. Porvoo, 3.-4.12.1991. Julk. Insinöörien Koulutuskeskus. Helsinki 1991. X, 14 s.
41. *PALONEN, H., STRAND, M.*, Pihkan ja tahmojen torjunta. INSKO 1991 Paperikoneen märkäosan hallinta. Porvoo, 3.-4.12.1991. Julk. Insinöörien Koulutuskeskus. Helsinki 1991. III, 18 s.
42. *HOLMBOM, B.*, Kohti suljetumpia vesikiertoja – mitkä aineet kerääntyvät ja aiheuttavat häiriöitä. INSKO 1992 Suljetut vesikierrot. Kouvola, 8.-9.10.1992. Julk. Insinöörien Koulutuskeskus. Helsinki 1992. IIIa, 14 s.
43. *EKMAN, R.*, Märkäosan kemia – Analyysit, mittaukset ja niiden merkitys. INSKO 1993 Paperikoneen märkäosan kemia ja sen hallinta. Helsinki, 3.-4.11.1993. Julk. Insinöörien Koulutuskeskus. Helsinki 1993. II, 21 s.
44. *JÄRVINEN, R.*, Raaka-aine – liennut aine – häiriöaine. INSKO 1991 Paperikoneen märkäosan hallinta. Porvoo, 3.-4.12.1991. Julk. Insinöörien Koulutuskeskus. Helsinki 1991. II, 24 s.
45. *WILLIAMS, D., G.*, Minimizing chemical and fines buildup in white water by chemical means. Tappi Journal 56(1973)12, s. 142-147.

46. *NEIMO, L.*, Coagulation of anionic fines and colloids originating in broke from production of LWC paper. The Chemistry of papermaking, PIRA. Berkshire, GBR, January 30–31, 1991. Julk. PIRA. Berkshire, GBR 1991. Paper 12, 20 s.
47. *CUNNINGHAM, G., W.*, Deposit control on alkalien papermaking systems. The Chemistry of Neutral papermaking, PIRA, Paper & Board Division Seminar. Berkshire, GBR, Febr. 10–11, 1987. Julk. PIRA. Berkshire, GBR 1987. Paper 5, 27 s.
48. *STRAND, M.*, Pihkan ja päällystetyn hylyn vaikutukset märkäosan hallintaan. INSKO 1993 Paperikoneen märkäosan kemia ja sen hallinta. Helsinki, 3.–4.11.1993. Julk. Insinöörien Koulutuskeskus. Helsinki 1993. IX, 12 s.
49. *SJÖSTRÖM, E.*, Puukemia–Teoreettiset perusteet ja sovellutukset. Teknillisen Korkeakoulun Ylioppilaskunnan moniste n:o 406, 3. p. Espoo 1982. 240 s.
50. *THORNTON, J., EKMAN, R., HOLMBOM, B., ECERMAN, C.*, Release of potential "anionic trash" in peroxide bleaching of mechanical pulp. Paperi ja Puu 75(1993)6, s. 426 – 431.
51. *KUKKAMÄKI, E.*, Märkäosan kemia – Analyysit, mittaukset ja niiden merkitys. INSKO 1993 Paperikoneen märkäosan kemia ja sen hallinta. Helsinki, 3.–4.11.1993. Julk. Insinöörien Koulutuskeskus. Helsinki 1993. III, 9 s.
52. *ÄRRÄLÄ, H.*, Keräyskuidun käytön vaikutus paperikoneen märkäosan hallintaan. INSKO 1991 Paperikoneen märkäosan hallinta. Porvoo, 3.–4.12.1991. Julk. Insinöörien Koulutuskeskus. Helsinki 1991. V, 17 s.
53. *WEIGL, J., VON RAVEN, A., BAUMGARTEN, H., L.*, Chemisch-technologische Maßnahmen bei der Herstellung holzhaltiger Papiere im neutralen pH-Bereich. Deutsche Papierwirtschaft (1987)1, s. T12–T20.

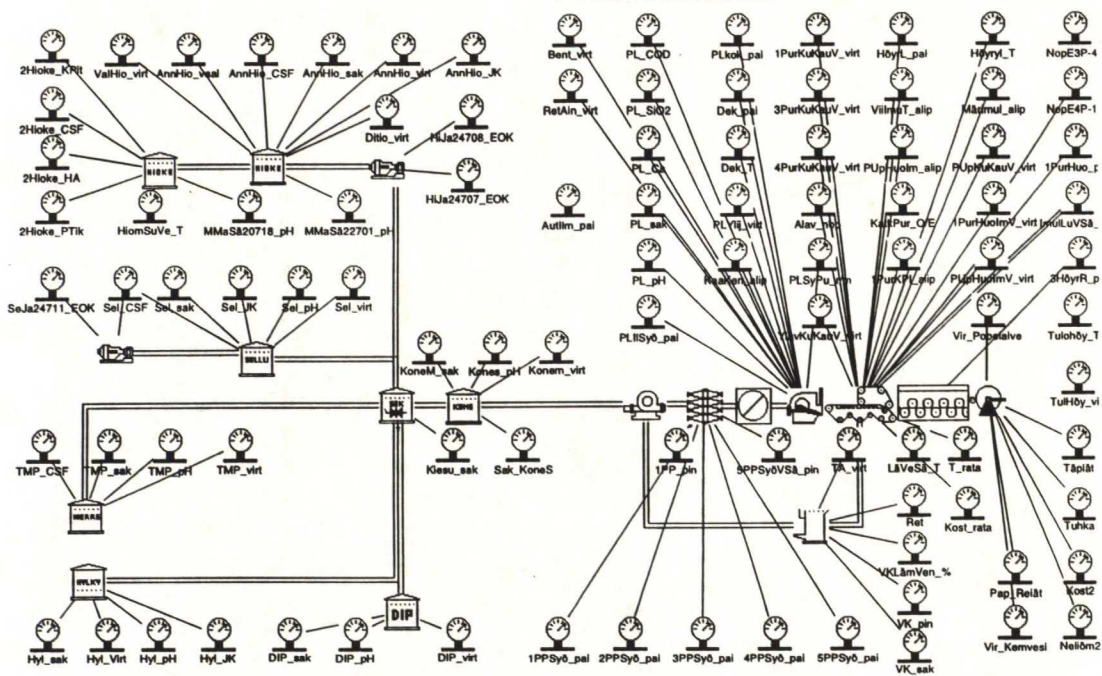
54. *WEIGL, J.*, Zur Problematik der Neutralfahrweise bei der Herstellung holzhaltiger Papiere. Wochenblatt für Papierfabrikation 113(1985)15, s. 553–555.
55. *CROUSE, B., W., WIMER, D., G.*, Alkaline papermaking: an overview. Tappi Journal 74(1991)7, s. 152 – 158.
56. *TISSARI, M.*, Suullinen tiedonanto. Valmet Paperikoneet Oy, Projektiosasto. Rautpohja.
57. *EKMAN, R., ECKERMAN, C., HOLMBOM, B.*, Studies on the behavior of extractives in mechanical pulp suspensions. Nordic Pulp and Paper Research Journal 5(1990)2, s. 96–102.
58. *WEIGL, J., WURSTER, K., BAUMGARTEN, H., L.*, Harzablagerungen und ihre Bekämpfung in Papierfabriken. Das Papier 40(1986)10A, s. V52– V62.
59. *PAKARINEN, H.*, Siistatun uusiomassan vaikutukset märkäosan hallintaan. INSKO 1993 Paperikoneen märkäosan kemia ja sen hallinta. Helsinki, 3.–4.11.1993. Julk. Insinöörien Koulutuskeskus. Helsinki 1993. X, 11 s.
60. *SCOTT, W., E.*, A survey of the various contaminants present in recycled wastepaper white water systems. Recycling paper from fiber to finished product, Vol 1–2. Toim. Coleman, M., J. Julk. TAPPI. TAPPI PRESS, Atlanta, GA, 1990. s.121 – 132.
61. *PEKURI, T.*, Suullinen tiedonanto. Yhtyneet Paperitehtaat Oy, Keskushallinto. Valkeakoski.
62. *KORPI, T.*, Suullinen tiedonanto. Oy Keskuslaboratorio–Centrallaboratorium Ab. Espoo.

LIITELUETTELO:

- LIITE 1.* Prosessikaavio
- LIITE 2.* Tuhkapitoisuuden vaikutus radan irrotukseen
- LIITE 3.* Freeneksen vaikutus radan irrotukseen
- LIITE 4.* Uuden puristinhuovan käyntiinlähtöaika
- LIITE 5.* Puristinpaineen vaikutus radan kosteuteen
- LIITE 6.* Pickup-huovan vaihdon vaikutus radan irrotukseen
- LIITE 7.* Höyrylaatikon vaikutus radan irrotukseen
- LIITE 8.* Massan lämpötilan vaikutus radan irrotukseen
- LIITE 9.* Ajonopeuden vaikutus radan irrotukseen
- LIITE 10.* Neliömassan vaikutus radan irrotukseen
- LIITE 11.* Ditioniittivalkaisun vaikutus radan irrotukseen ja pH-tasoon
- LIITE 12.* Retention vaikutus radan irrotukseen
- LIITE 13.* PH:n vaikutukset prosessissa
- LIITE 14.* Kemiallisen tasapainotilan muutos

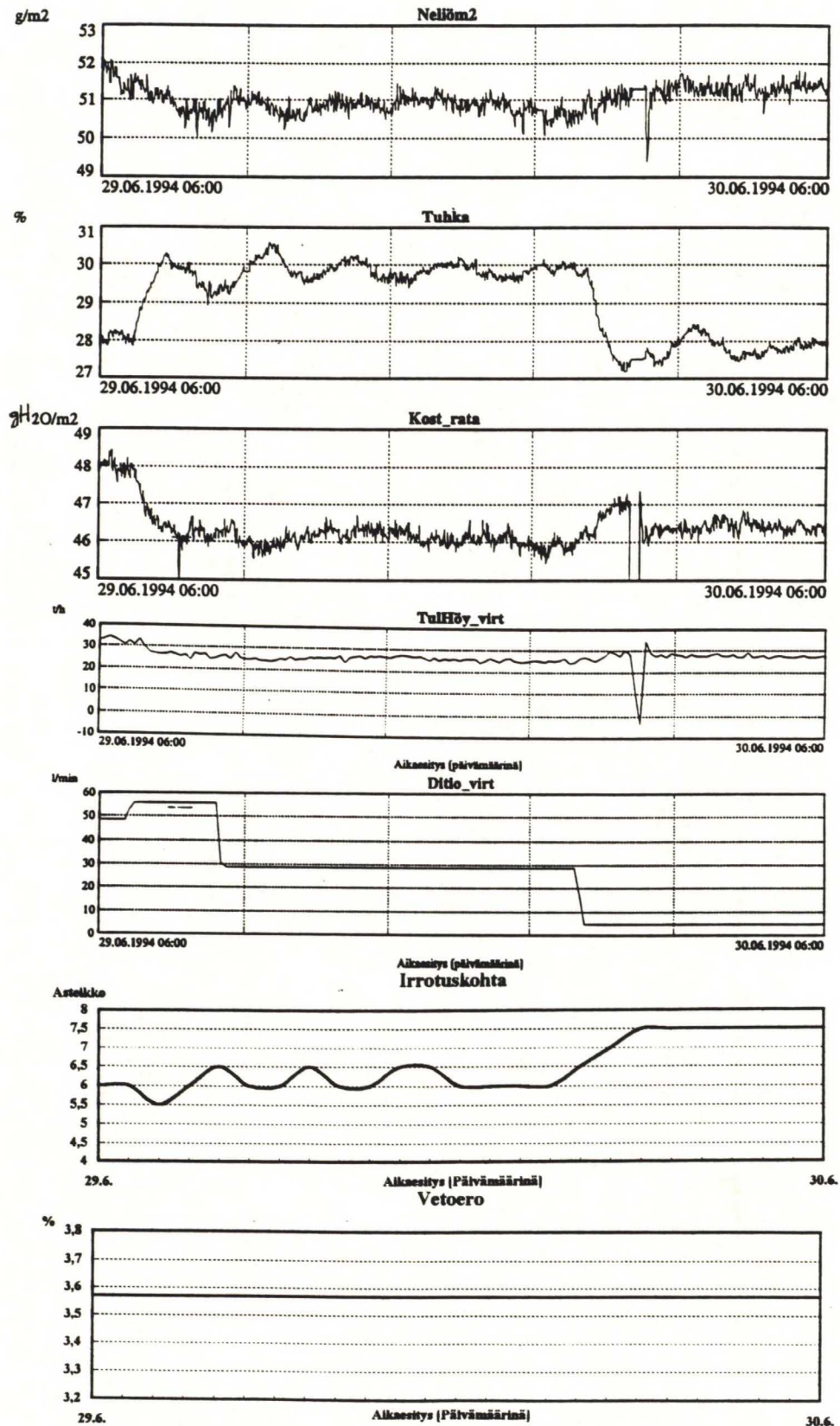
LIITE 1. PROSESSIKAAVIO

Prosessikaavio



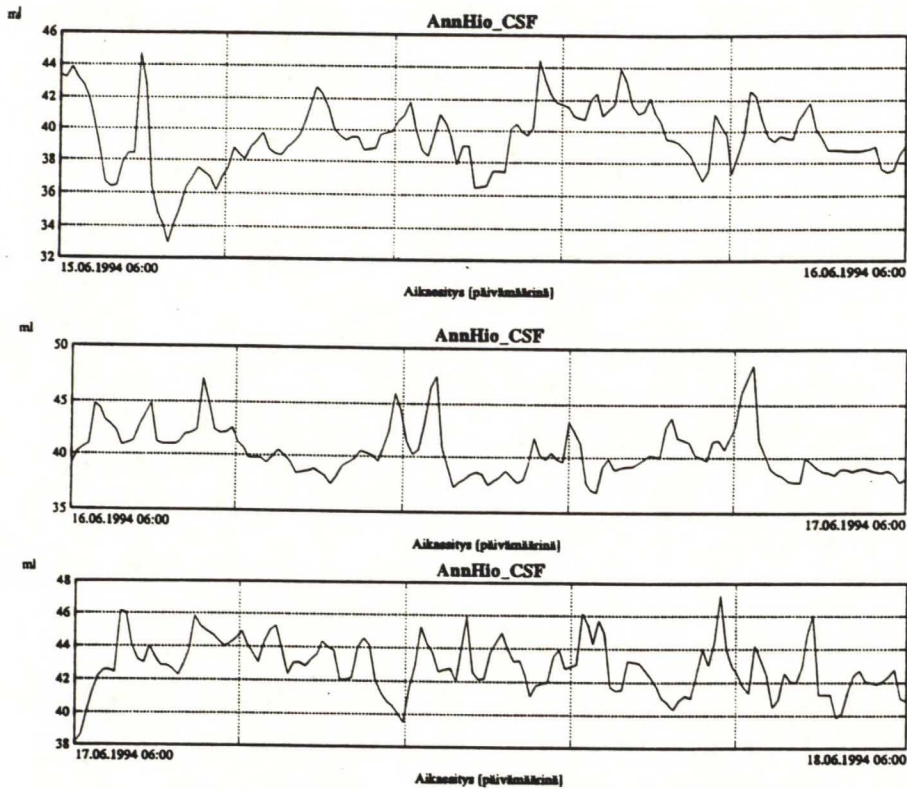
Kuva 1. Prosessikaavio tutkimuskohteena olleesta paperikoneesta.

LIITE 2. TUHKAPITOISUUDEN VAIKUTUS RADAN IRROTUKSEEN

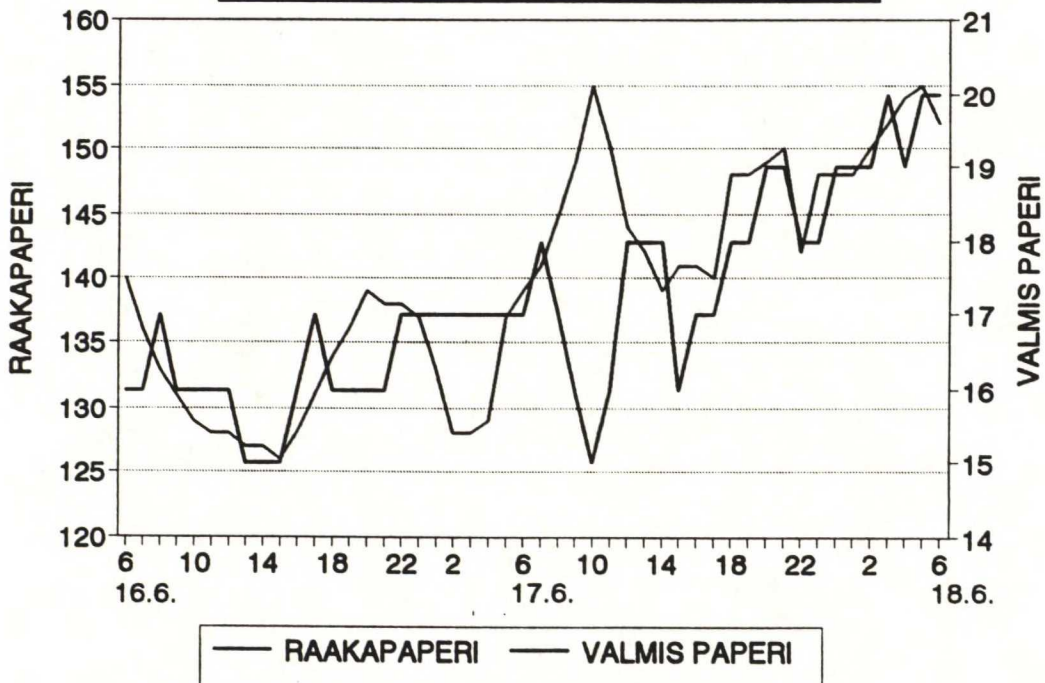


Kuva 1. Tuhkapitoisuuden vaikutus radan kosteuteen ja irrotukseen.

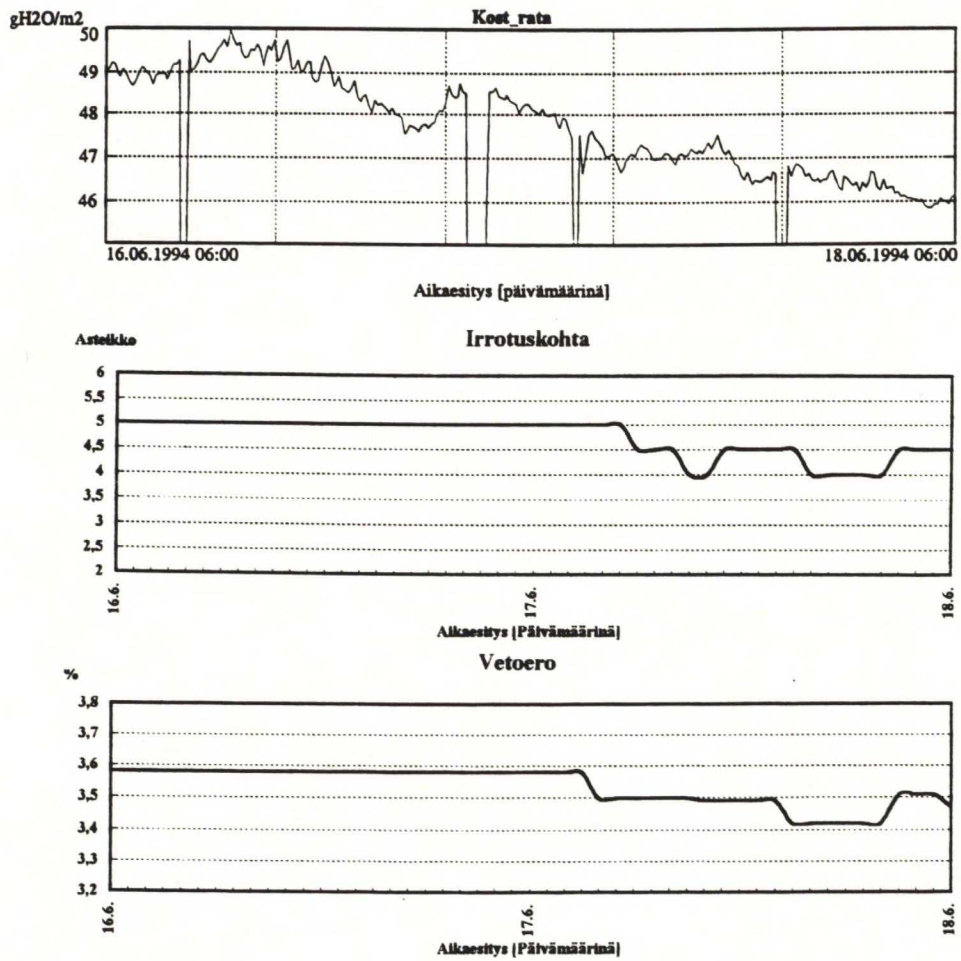
LIITE 3. FREENEKSEN VAIKUTUS RADAN IRROTUKSEEN



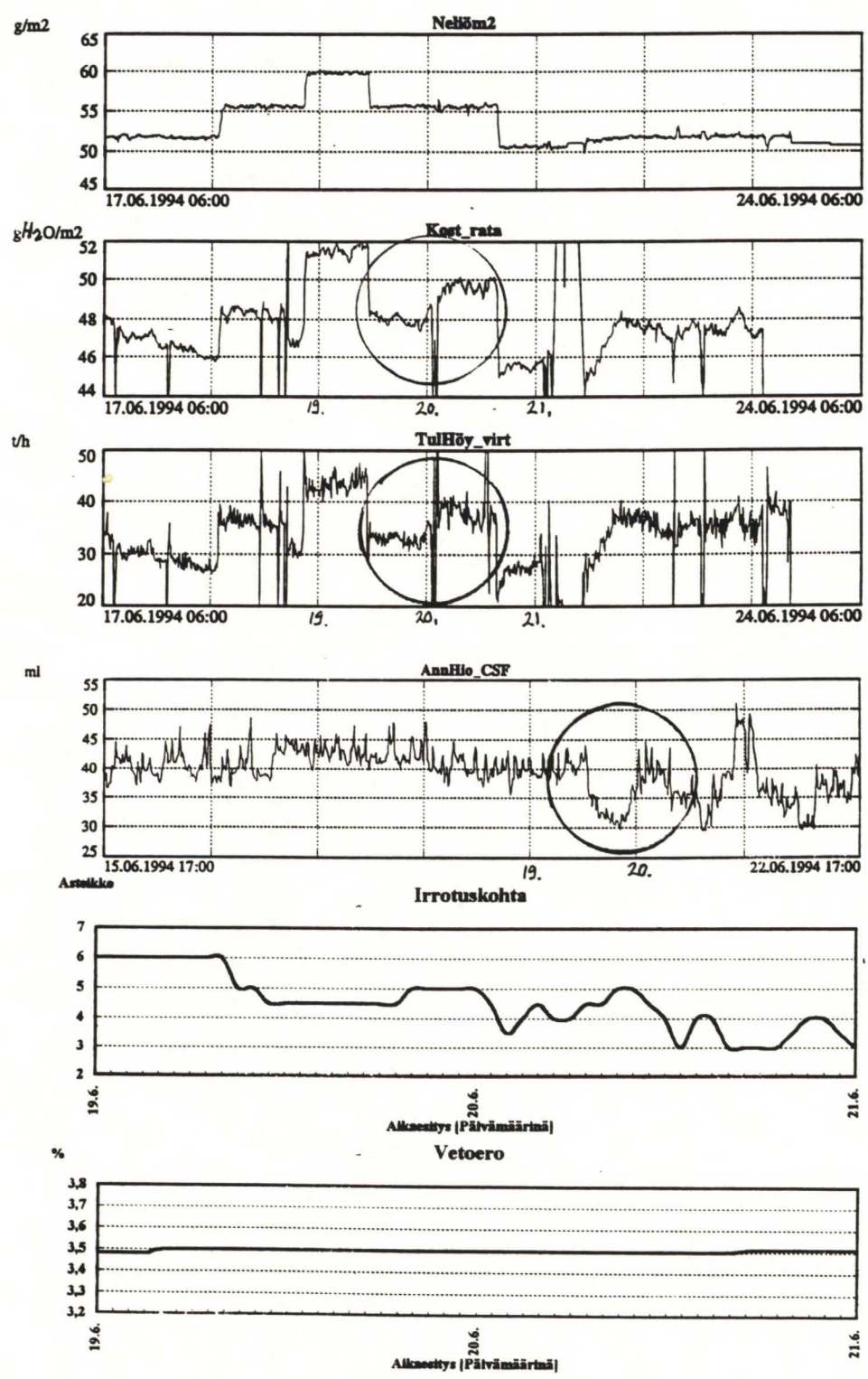
ILMANLÄISEVYYS / LAJI 5222
16.-18.6.1994



Kuva 1. Hiokkeen freeneksen nousun vaikutus radan huokoisuuteen.

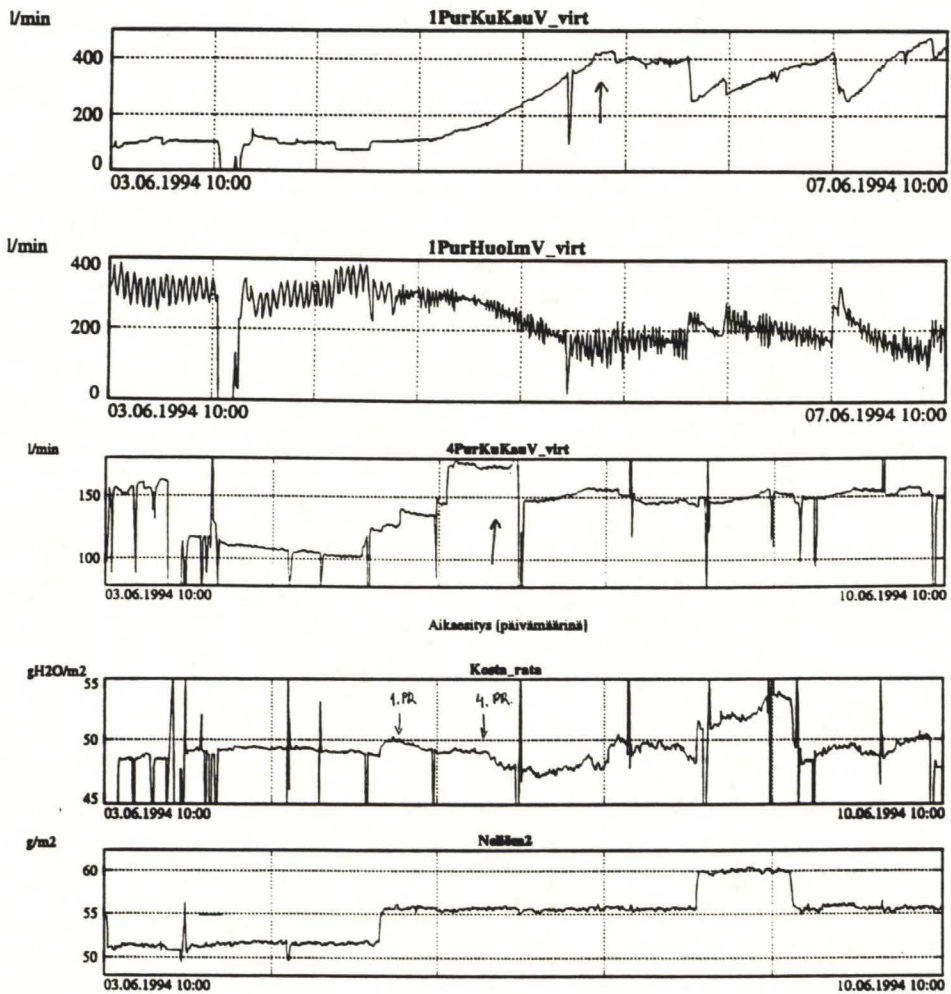


Kuva 2. Hiokkeen freeneksen laskun vaikutus radan kosteuteen ja irrotukseen.



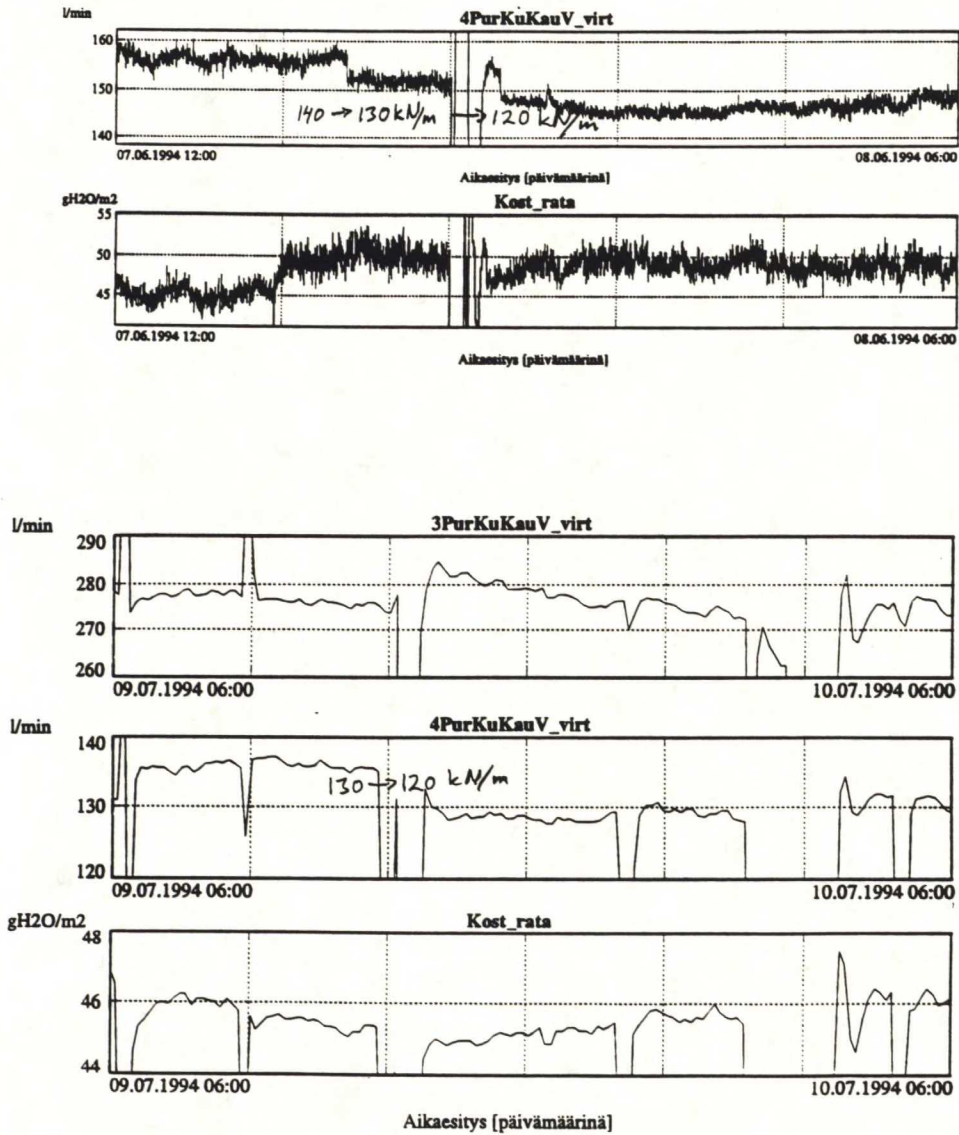
Kuva 3. Hiokkeen freeneksen laskun vaikutus radan kosteuteen ja irrotukseen.

LIITE 4. UUDEN PURISTINHUOVAN KÄYNTIINLÄHTÖAIKA



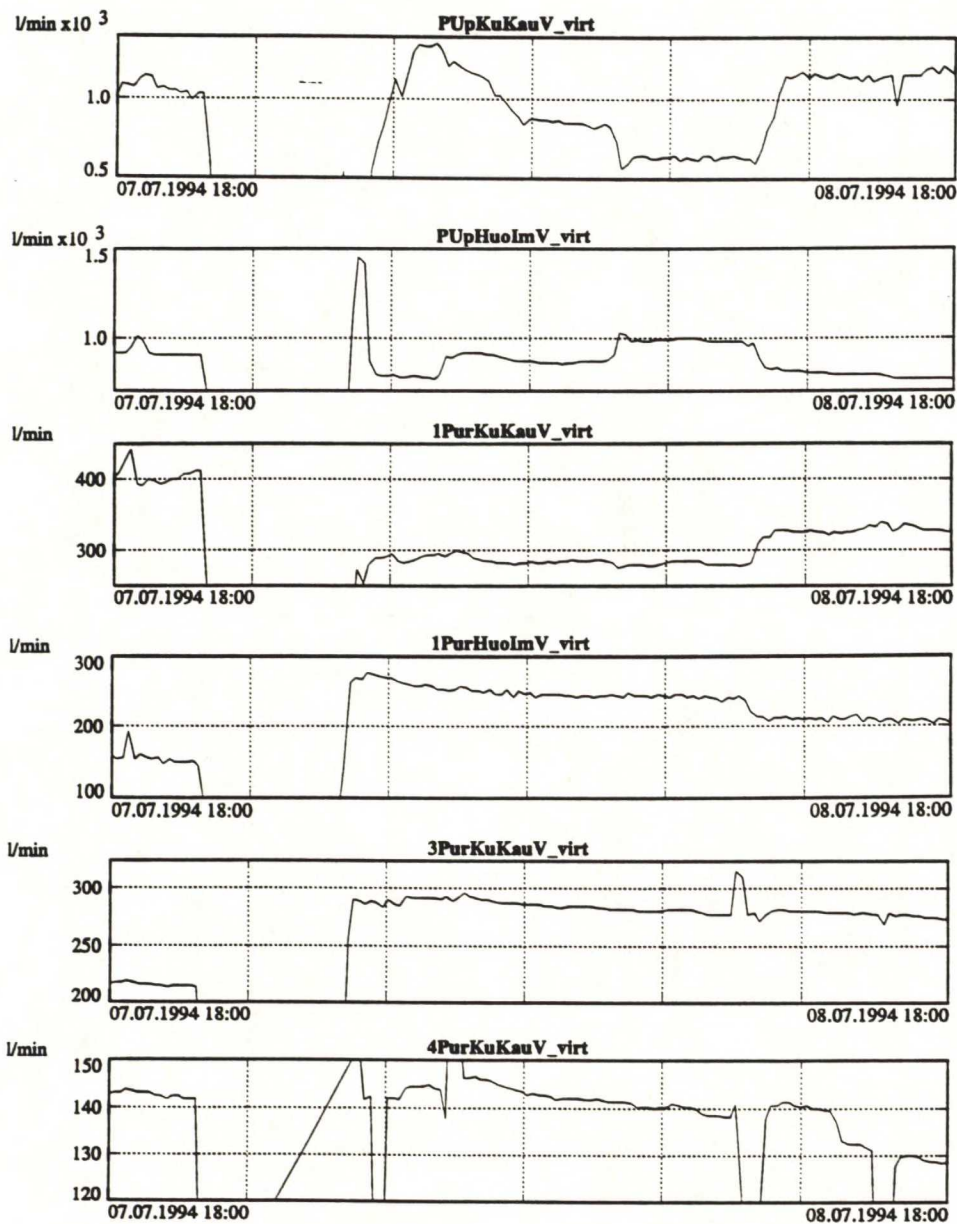
Kuva 1. Uuden puristinhuovan käyntiinlähetoaika.

LIITE 5. PURISTINPAINEEN VAIKUTUS RADAN KOSTEUTEEN

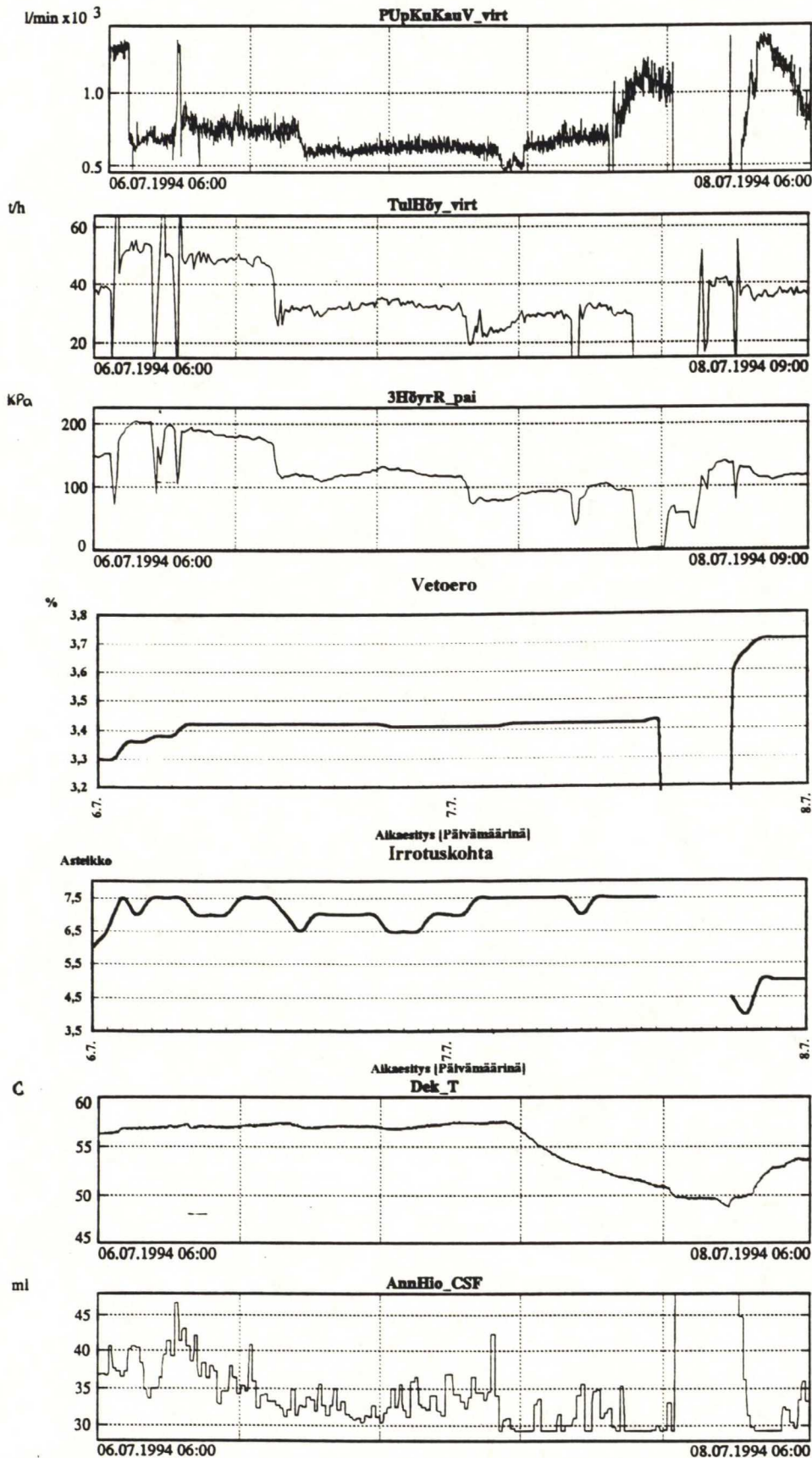


Kuva 1. Puristinpaineen muutoksen vaikutus radan kosteuteen.

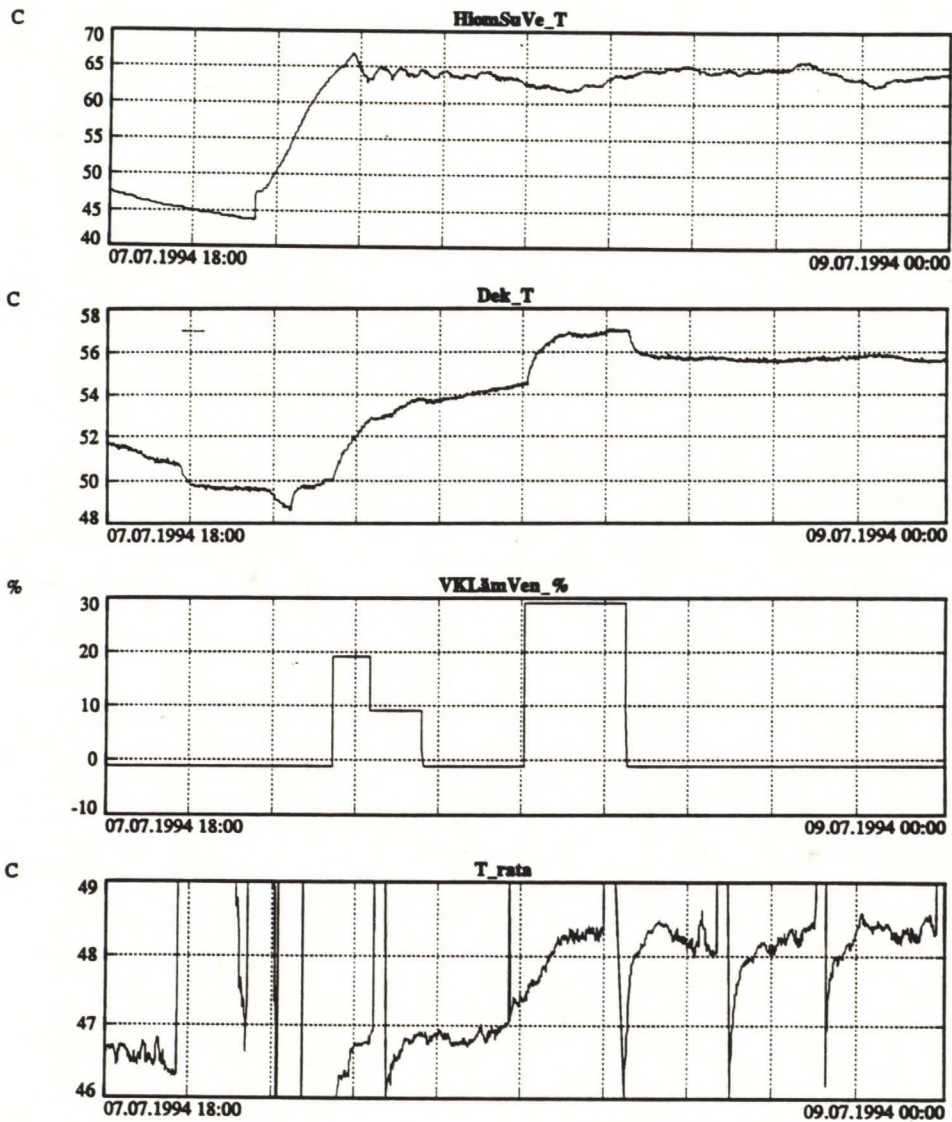
**LIITE 6. PICKUP-HUOVAN VAIHDON VAIKUTUS RADAN IRROTUK-
SEEN**



Kuva 1. Pickup-huovan vaihdon vaikutus puristinosan vedenpoistoon.

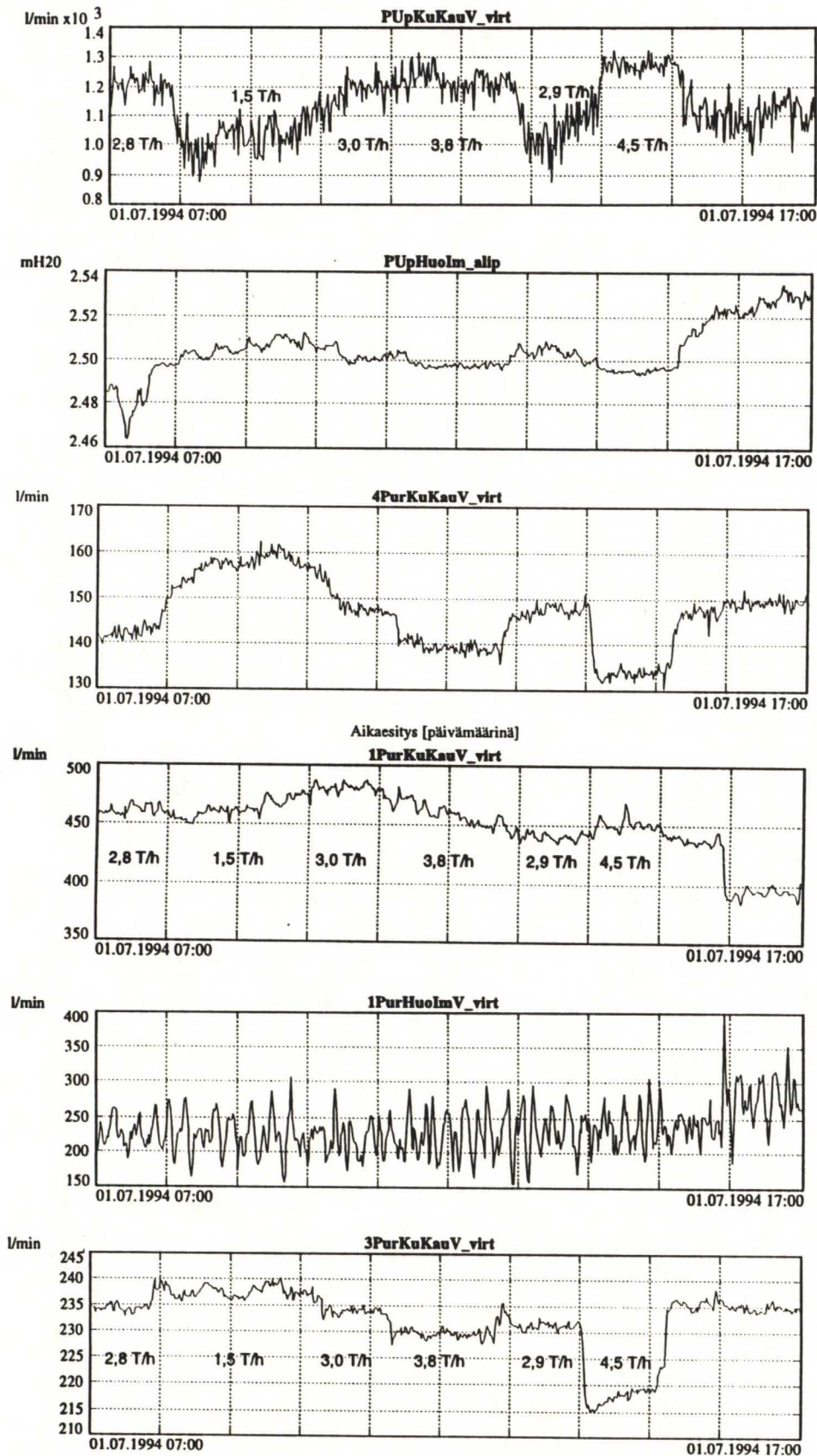


Kuva 2. Pickup-huovan vaihdon vaikutus radan kosteuteen ja irrotukseen.

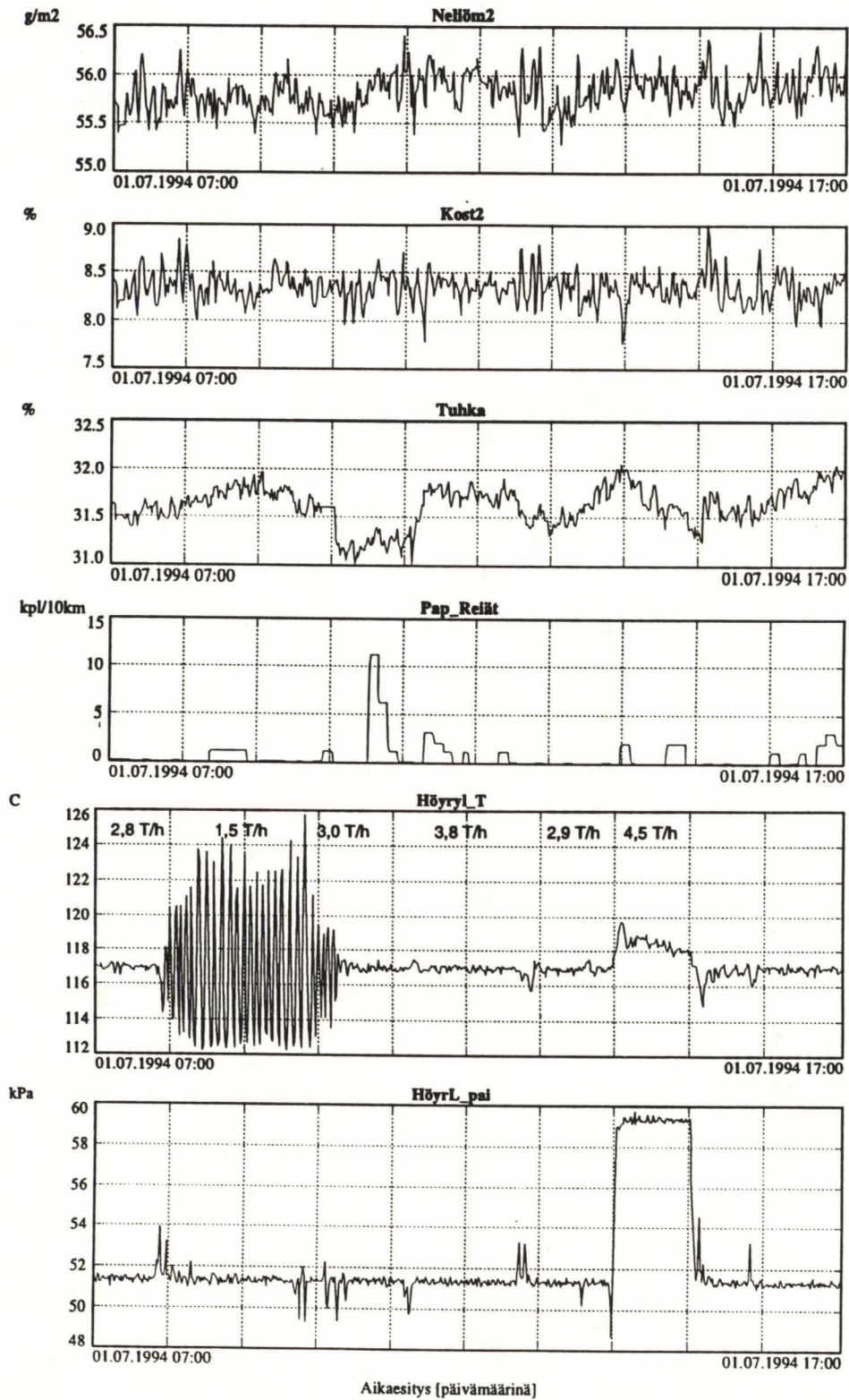


Kuva 3. Viirakaivon höyrylämmityksen vaikutus massan lämpötilaan.

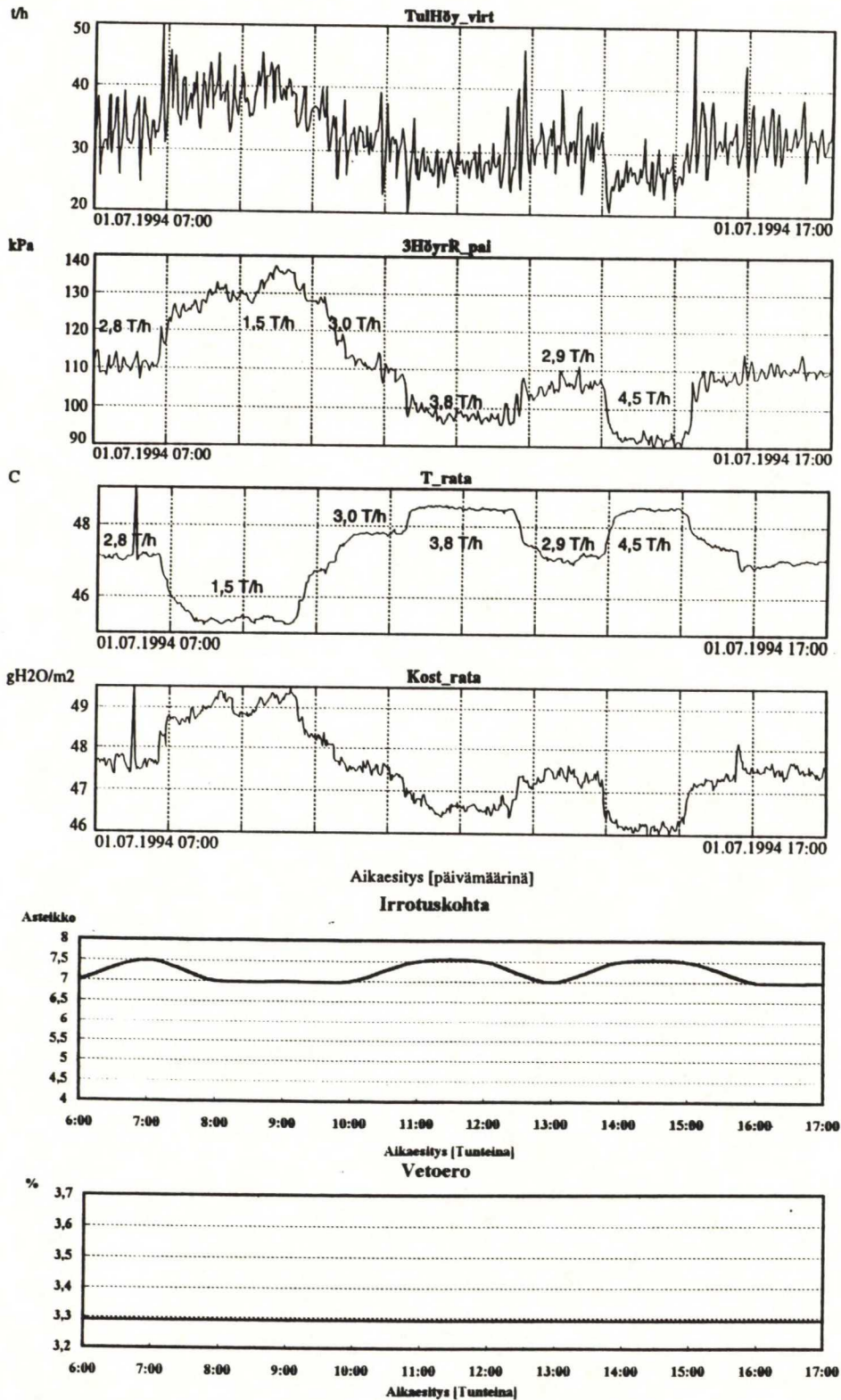
LIITE 7. HÖYRYLAATIKON VAIKUTUS RADAN IRROTUKSEEN



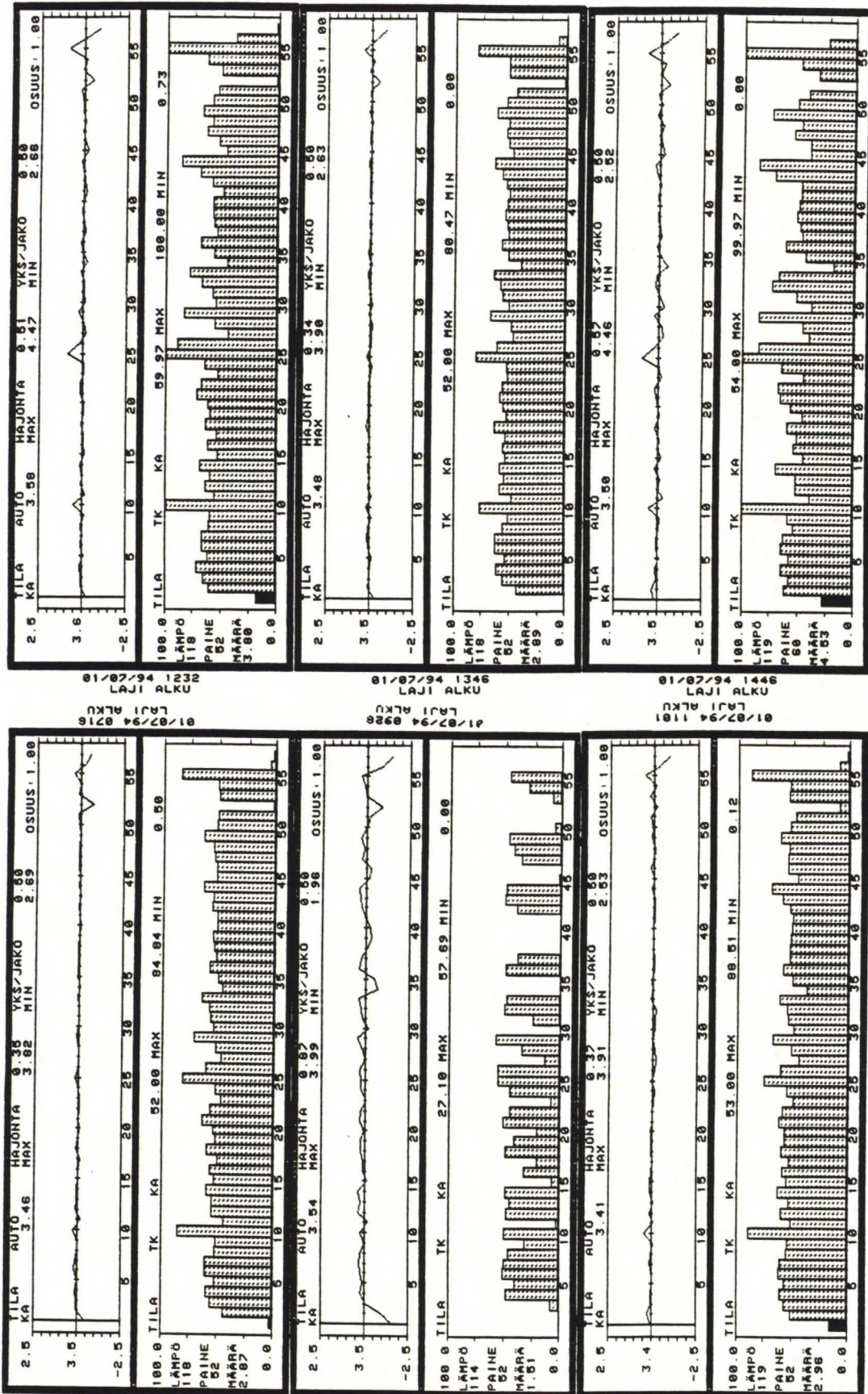
Kuva 1. Höyrylaatikon vaikutus puristinosan vedenpoistoon.



Kuva 2. Paperin ominaisuudet höyrylaatikkokeen aikana.

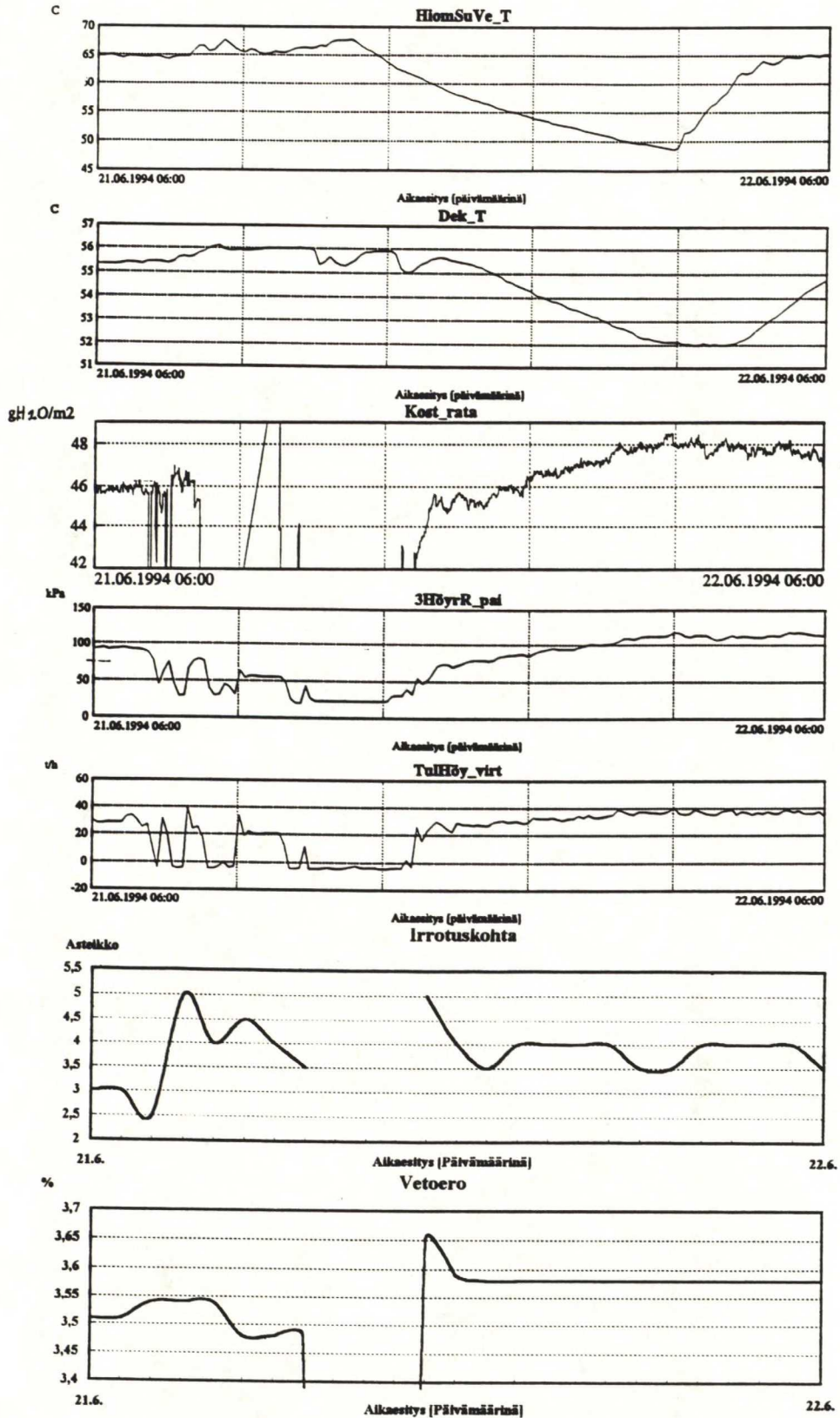


Kuva 3. Höyrylaatikon vaikutus radan kosteuteen ja irrotukseen.



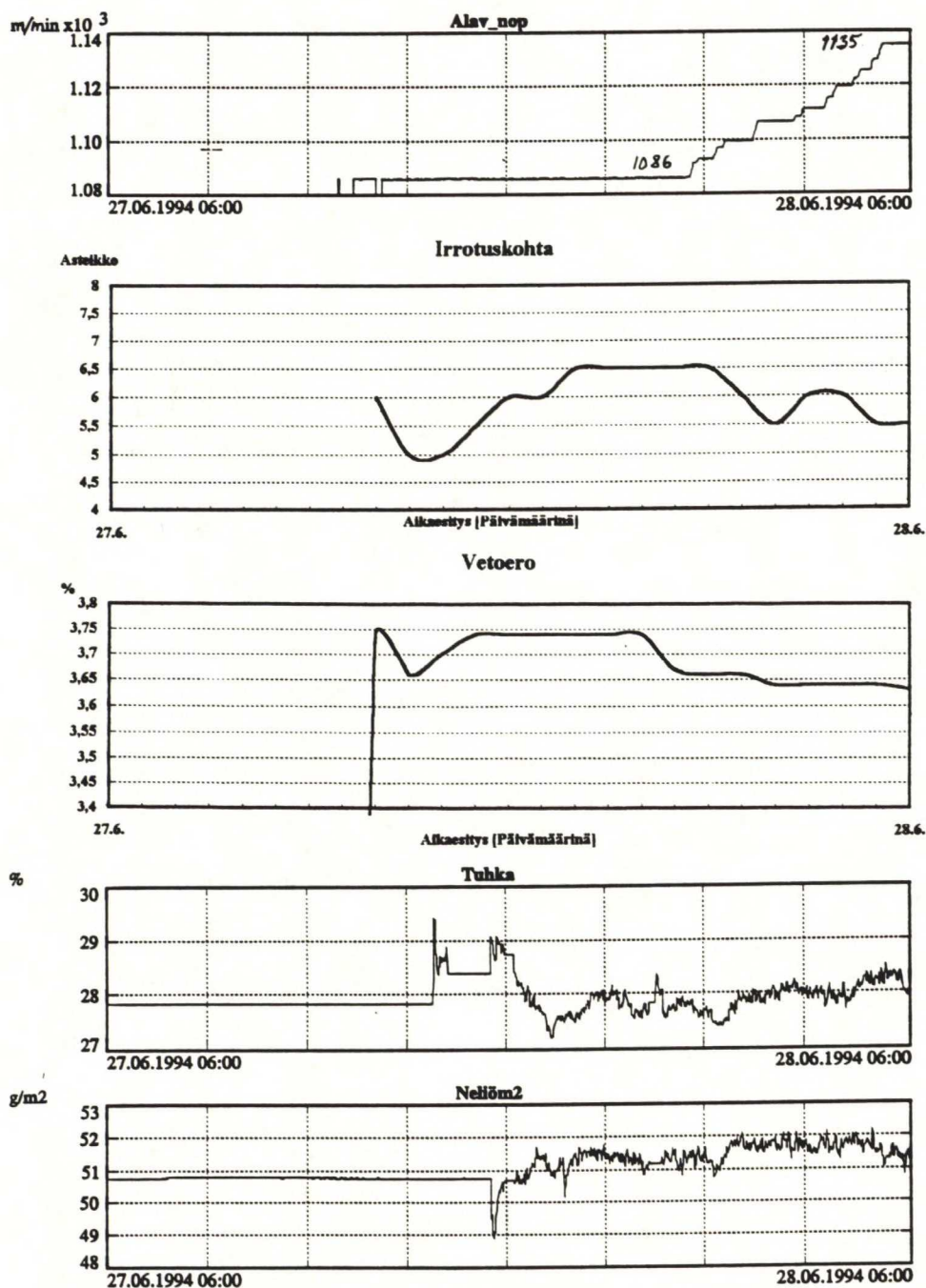
Kuva 4. Höyrylaatikon profilontikyky kokeen aikana.

LIITE 8. MASSAN LÄMPÖTILAN VAIKUTUS RADAN IRROTUKSEEN



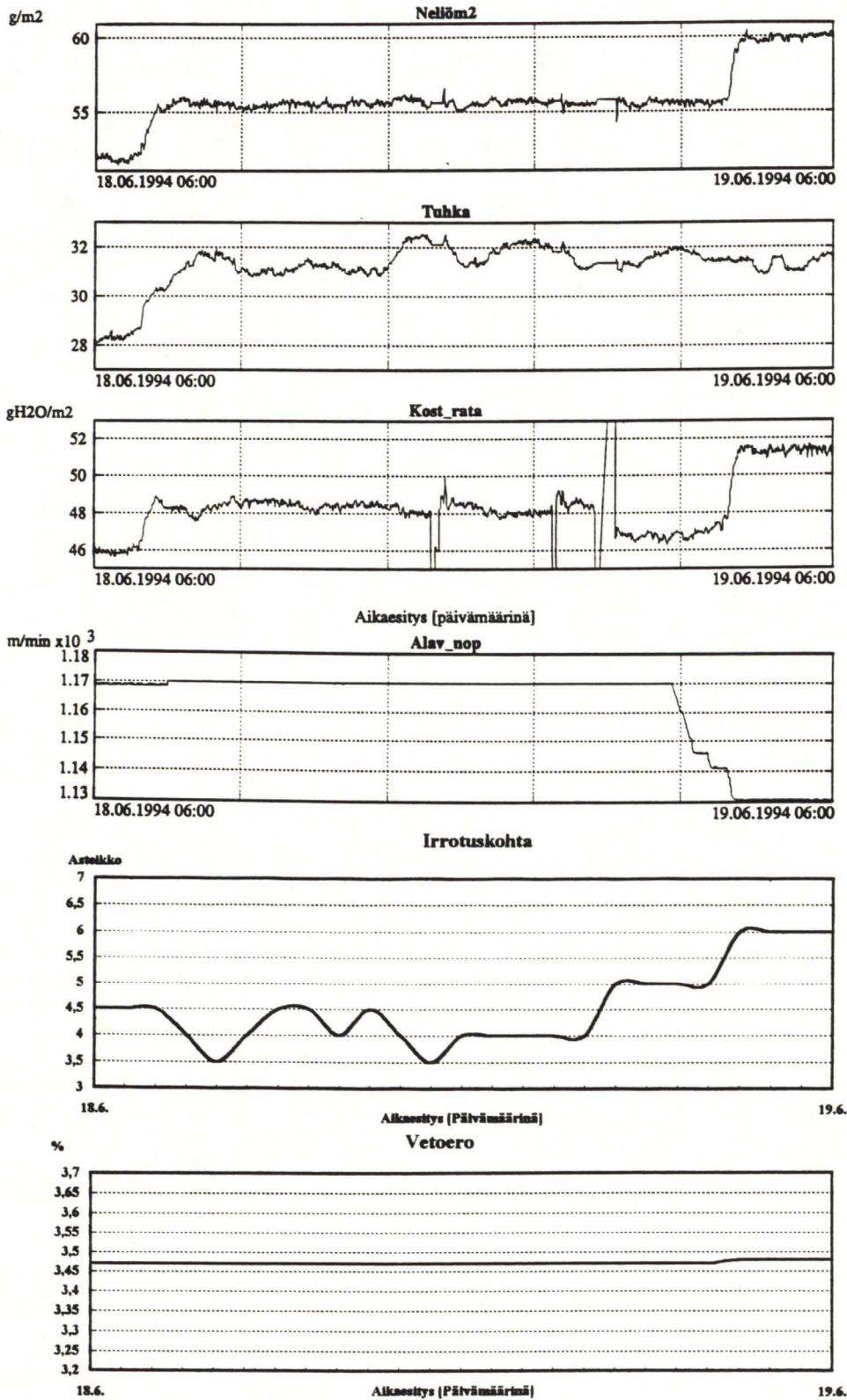
Kuva 1. Massan lämpötilan vaikutus radan kosteuteen ja irrotukseen.

LIITE 9. AJONOPEUDEN VAIKUTUS RADAN IRROTUKSEEN



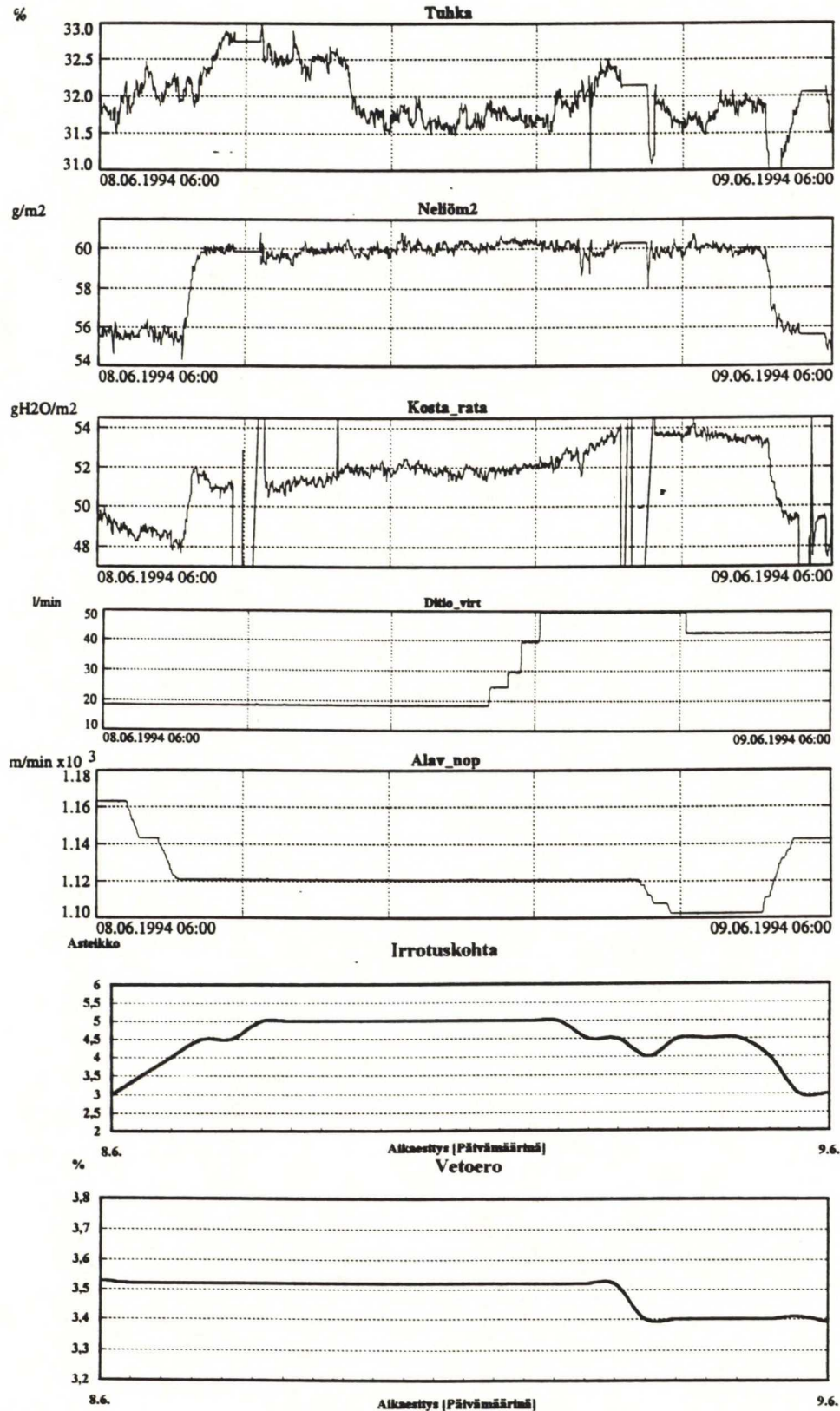
Kuva 1. Ajonopeuden vaikutus radan irrotukseen.

LIITE 10. NELIÖMASSAN VAIKUTUS RADAN IRROTUKSEEN

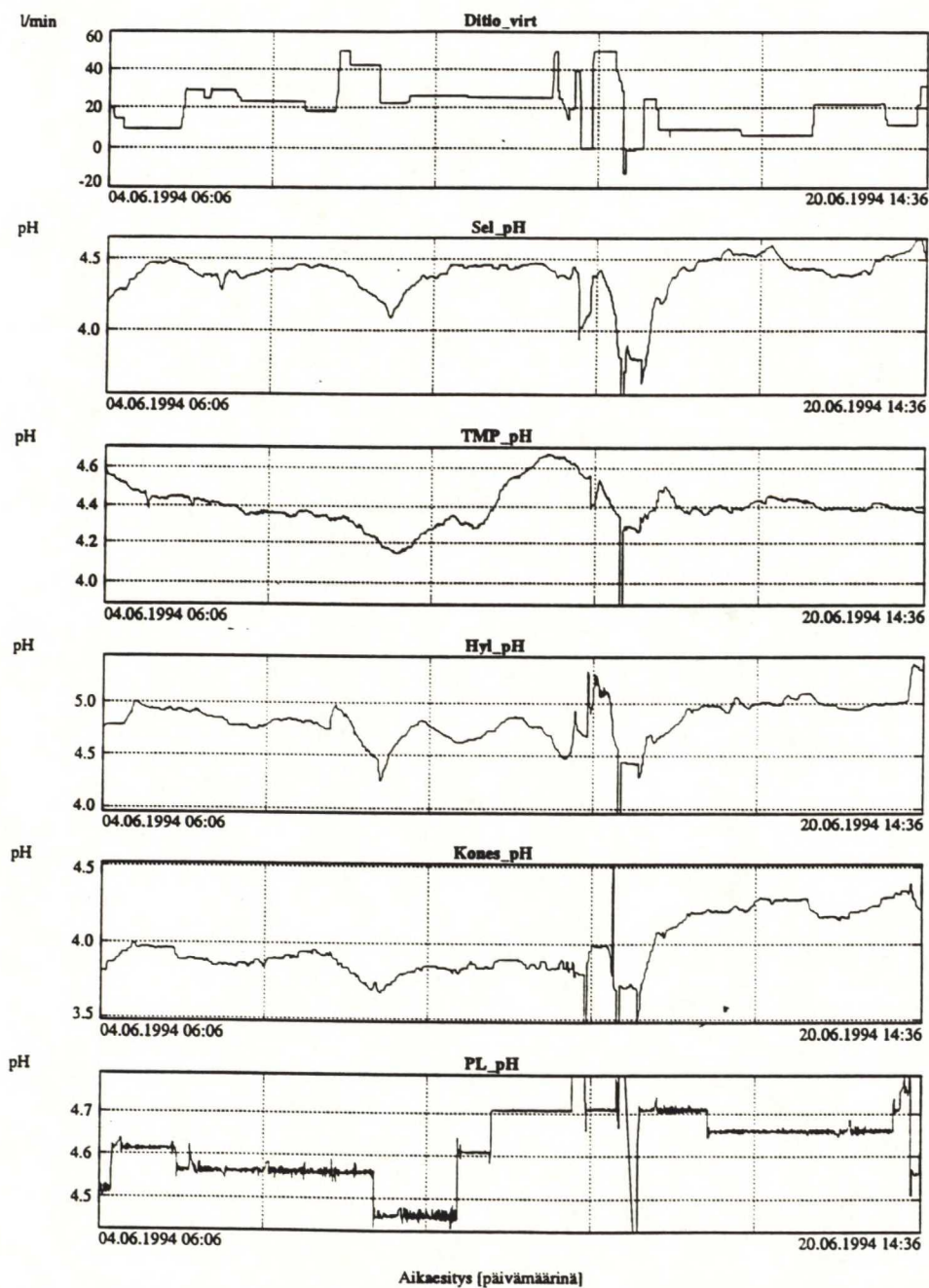


Kuva 1. Neliömassan vaikutus radan irrotukseen.

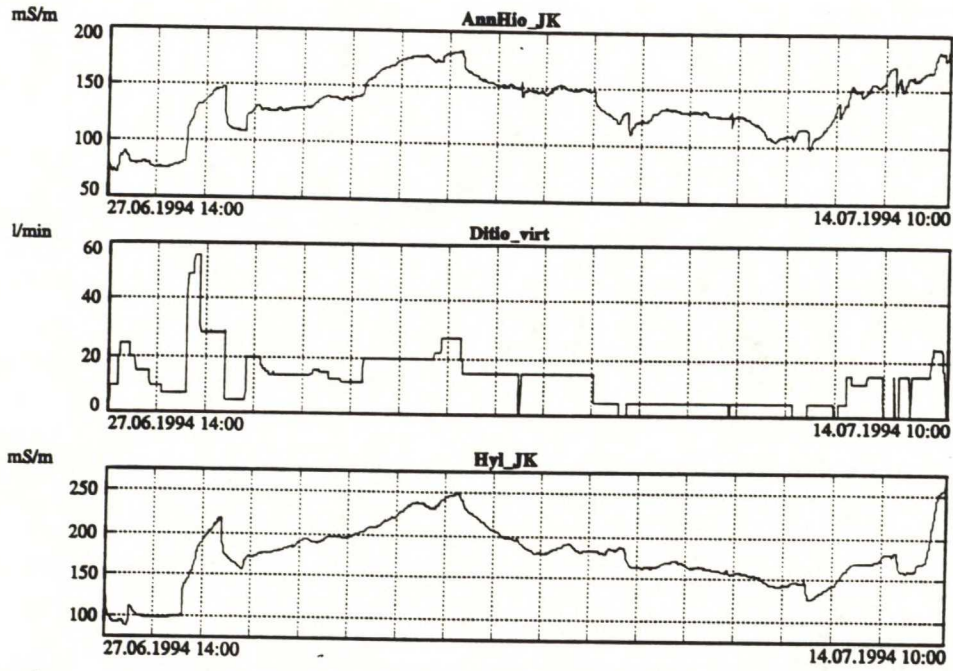
**LIITE 11. DITIONIITTIVALKAISUN VAIKUTUS RADAN IRROTUK-
SEEN JA PH-TASOON**



Kuva 1. Ditioniittivalkaisun vaikutus radan irrotukseen ja kosteuteen.

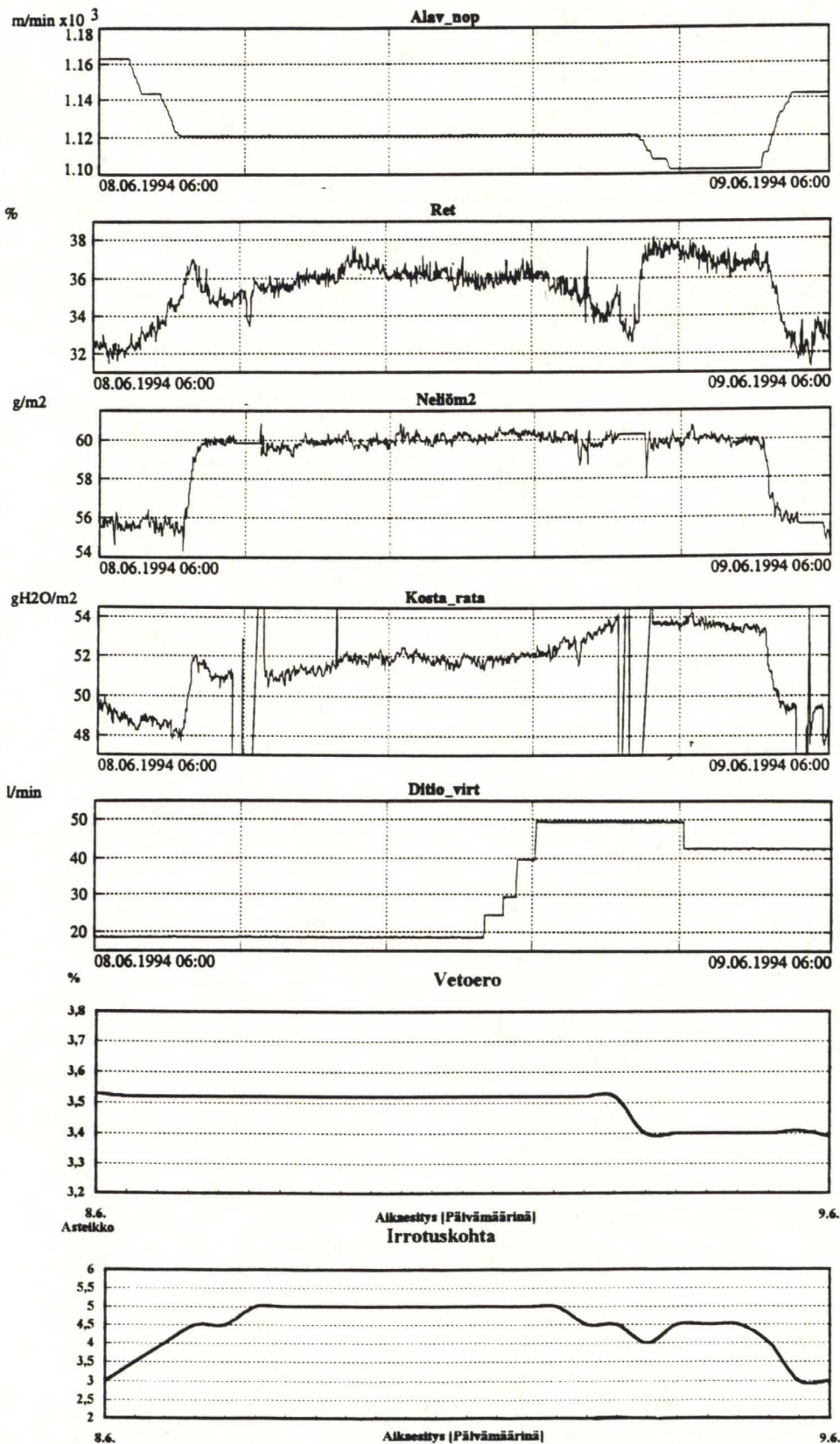


Kuva 2. Ditioniittivalkaisun vaikutus massan pH:seen.

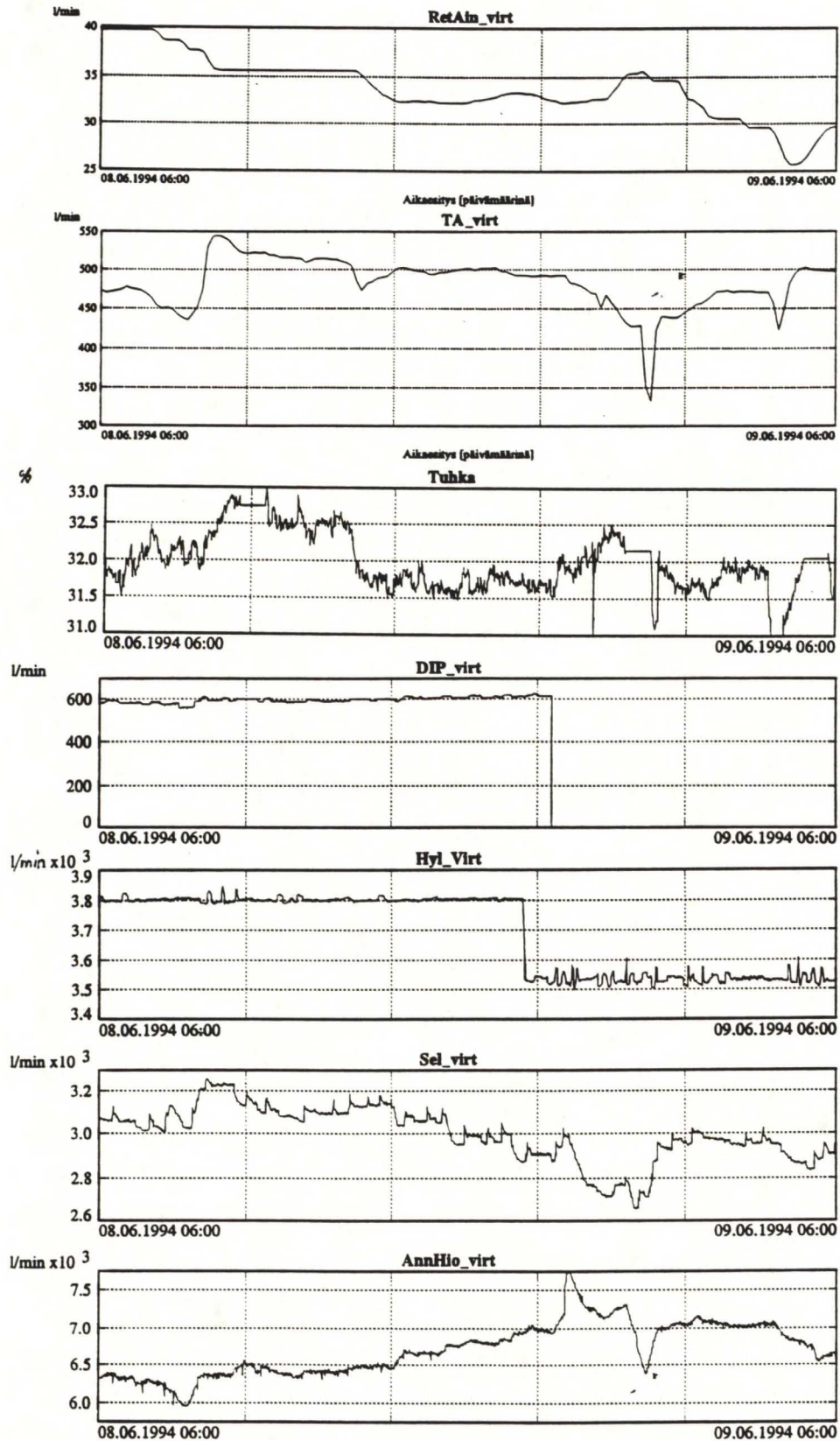


Kuva 3. Ditioniittivalkaisun vaikutus kiertoveden johtokykyyn.

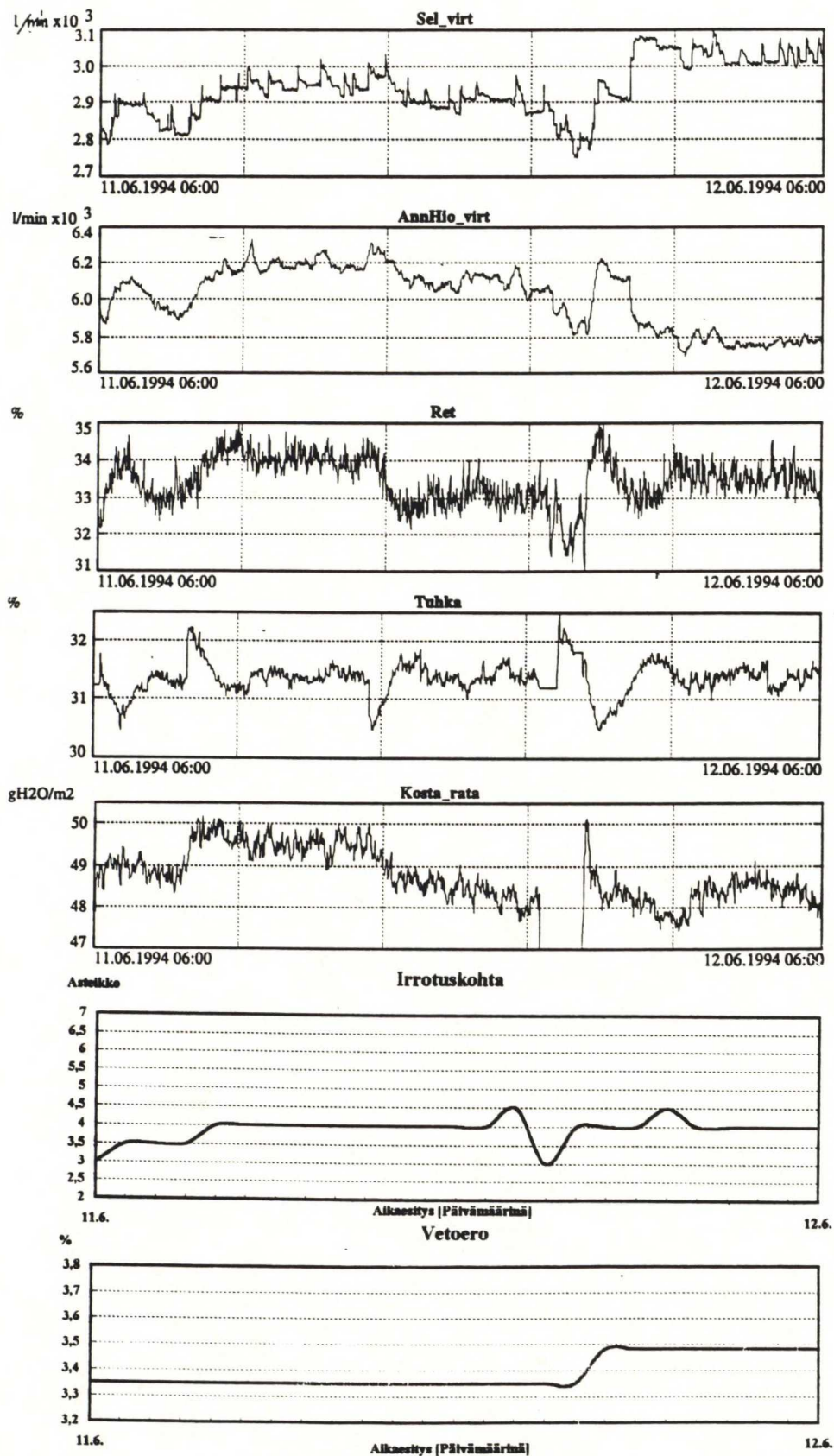
LIITE 12. RETENTION VAIKUTUS RADAN IRROTUKSEEN



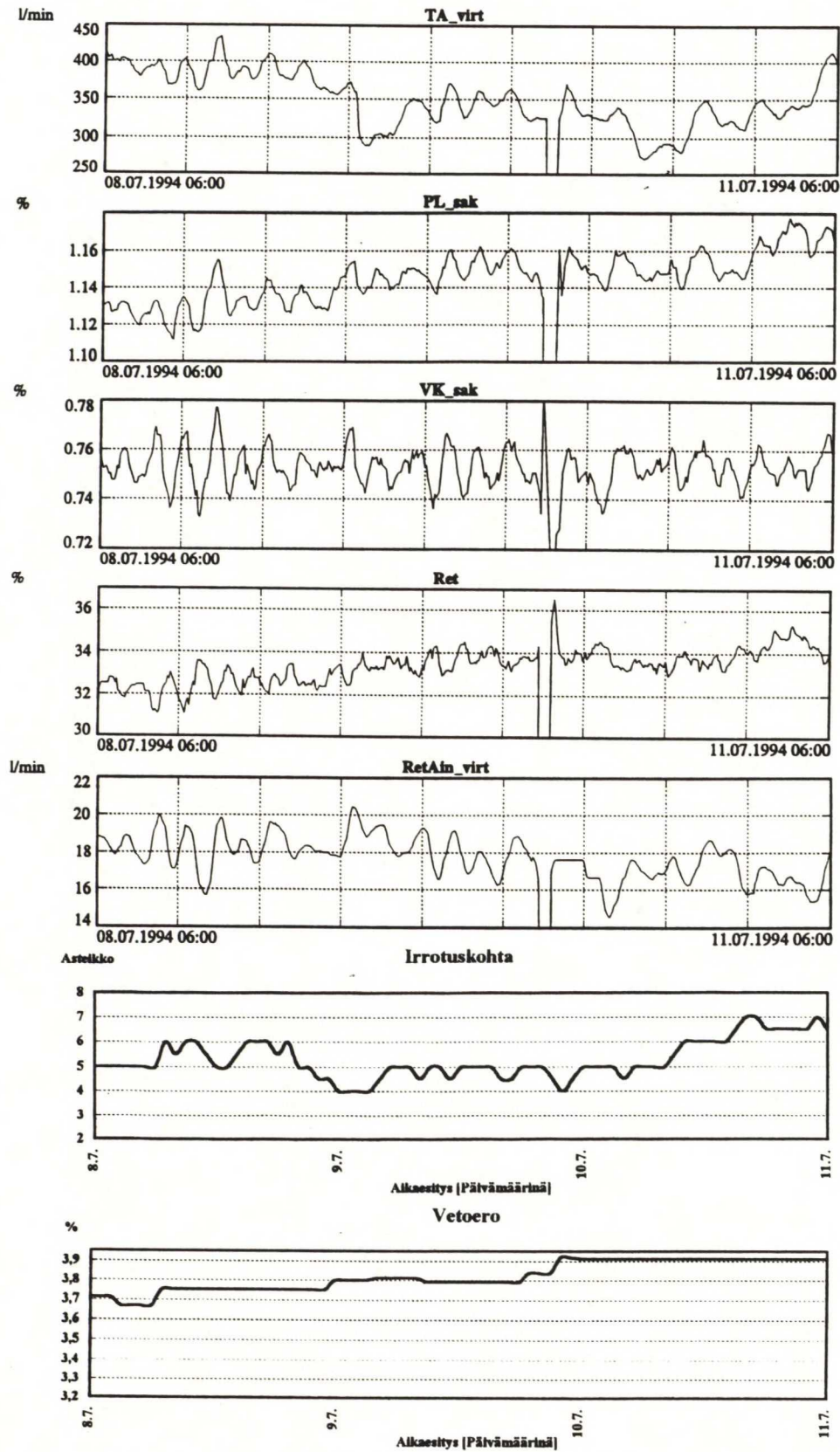
Kuva 1. Retention riippuvuus nopeudesta ja neliömassasta sekä näiden vaikutus irrotukseen.



Kuva 2. Retentioon vaikuttavien massojen annostelut retentiovaihtelun aikana.

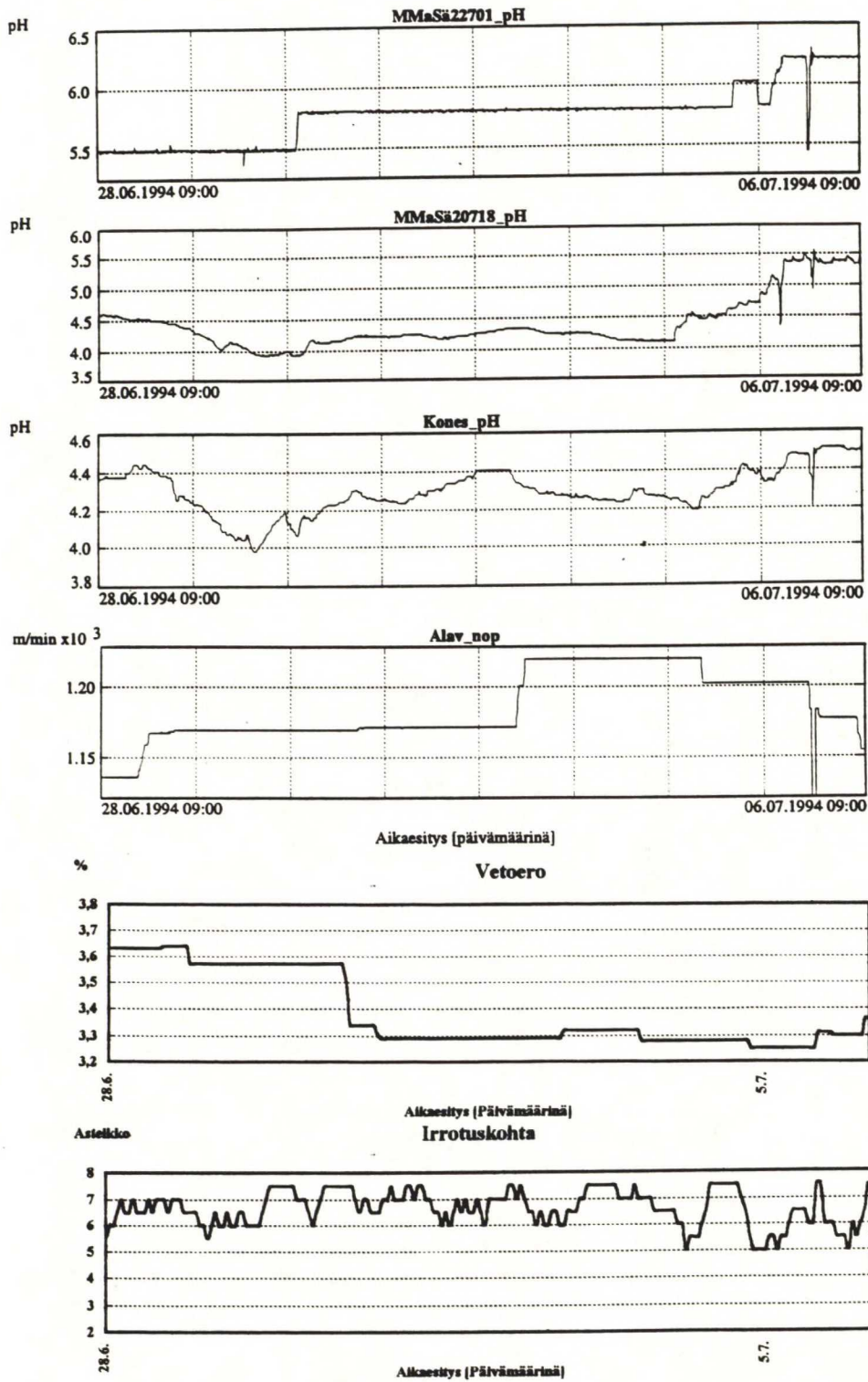


Kuva 3. Retentiovaihtelun vaikutus radan irrotukseen.

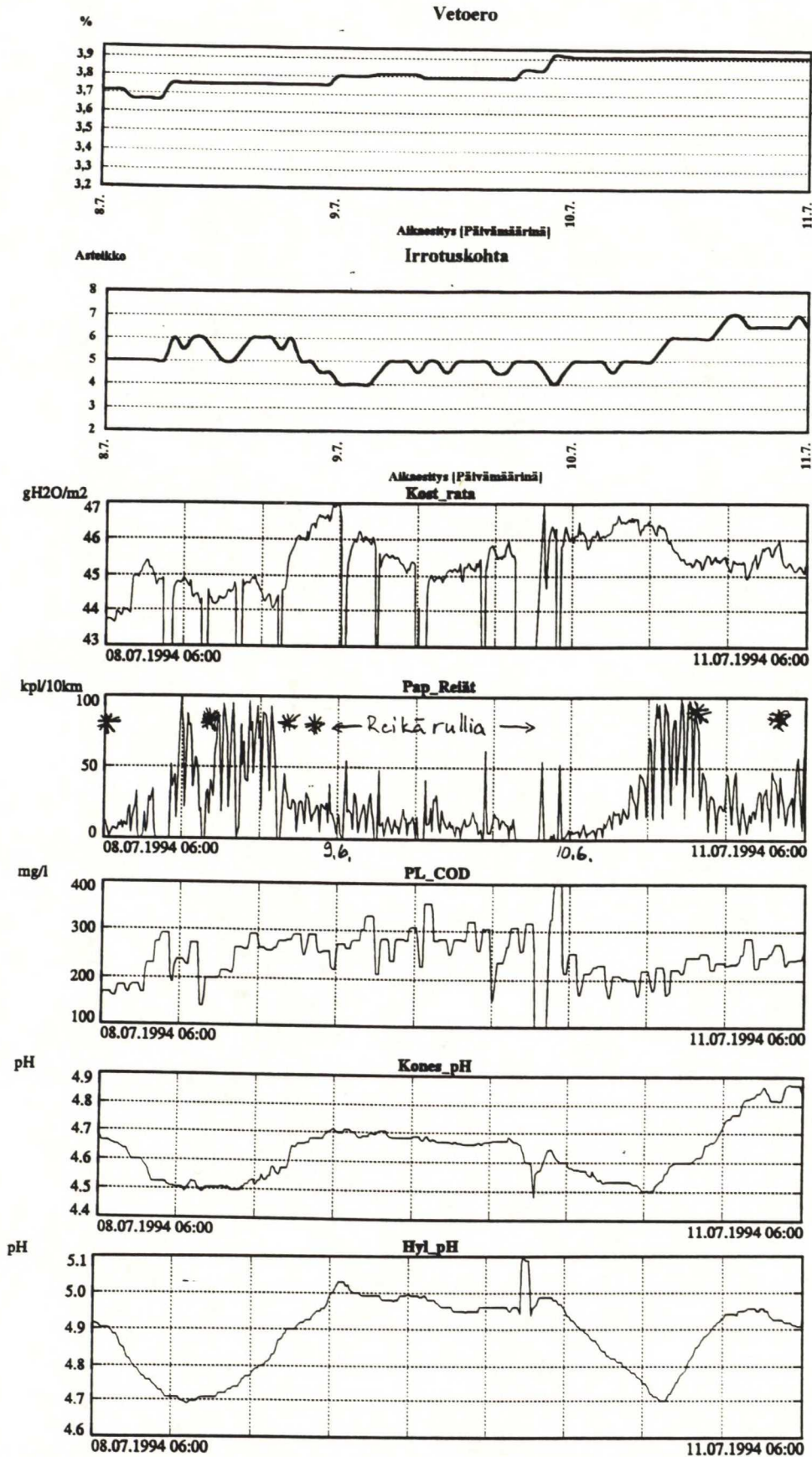


Kuva 4. Lyhyen kierron huojunta tutkimuskohteessa.

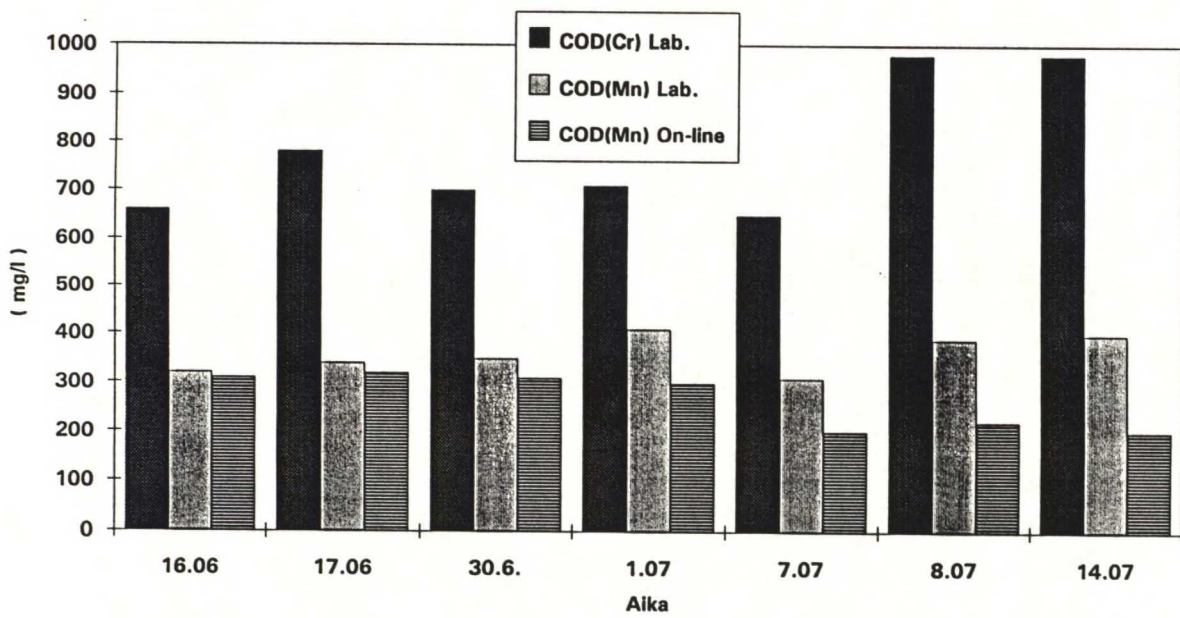
LIITE 13. PH:N VAIKUTUKSET PROSESSISSA



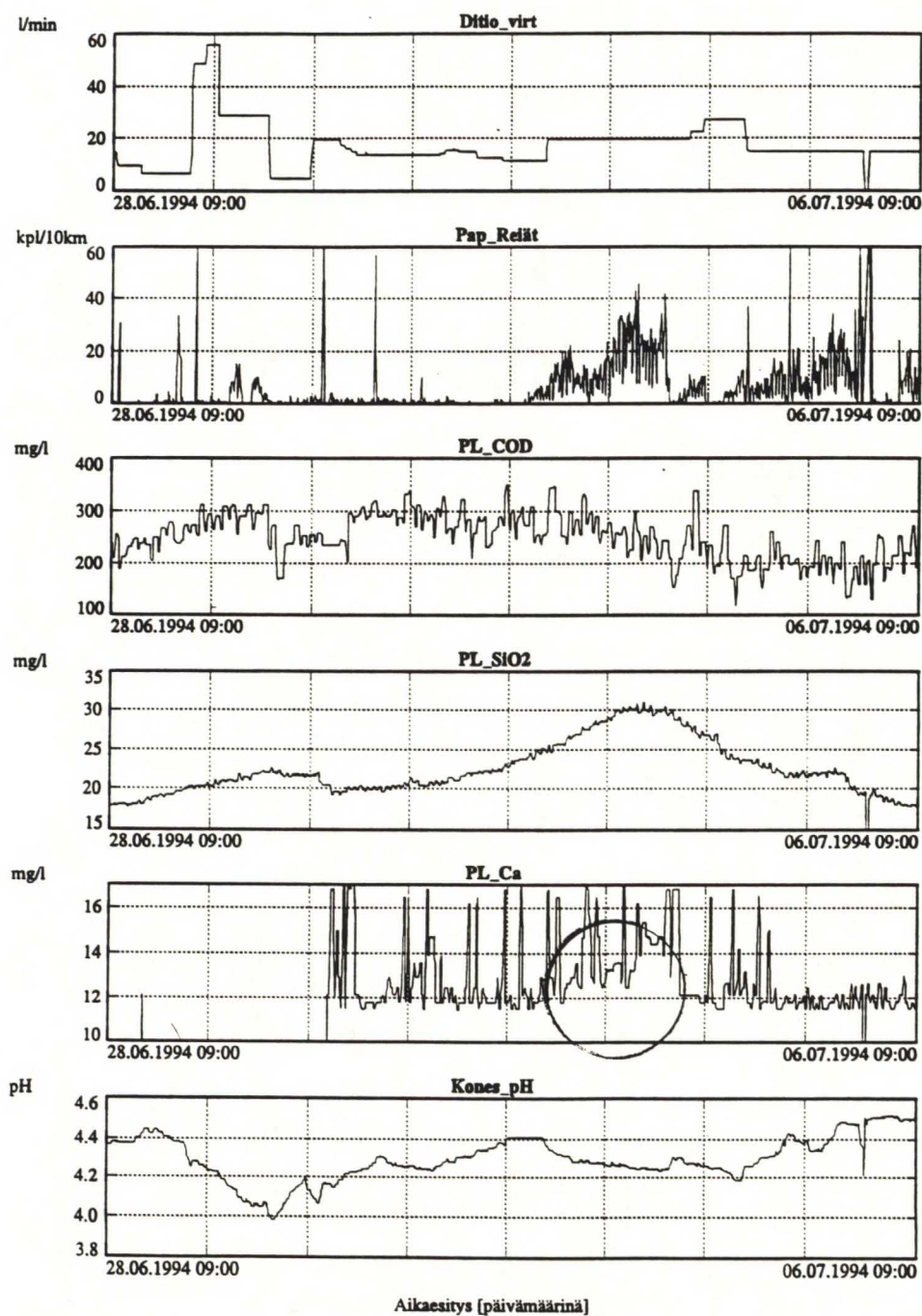
Kuva 1. Mekaanisen massan pH:n noston mahdollinen vaikutus radan irrotukseen.



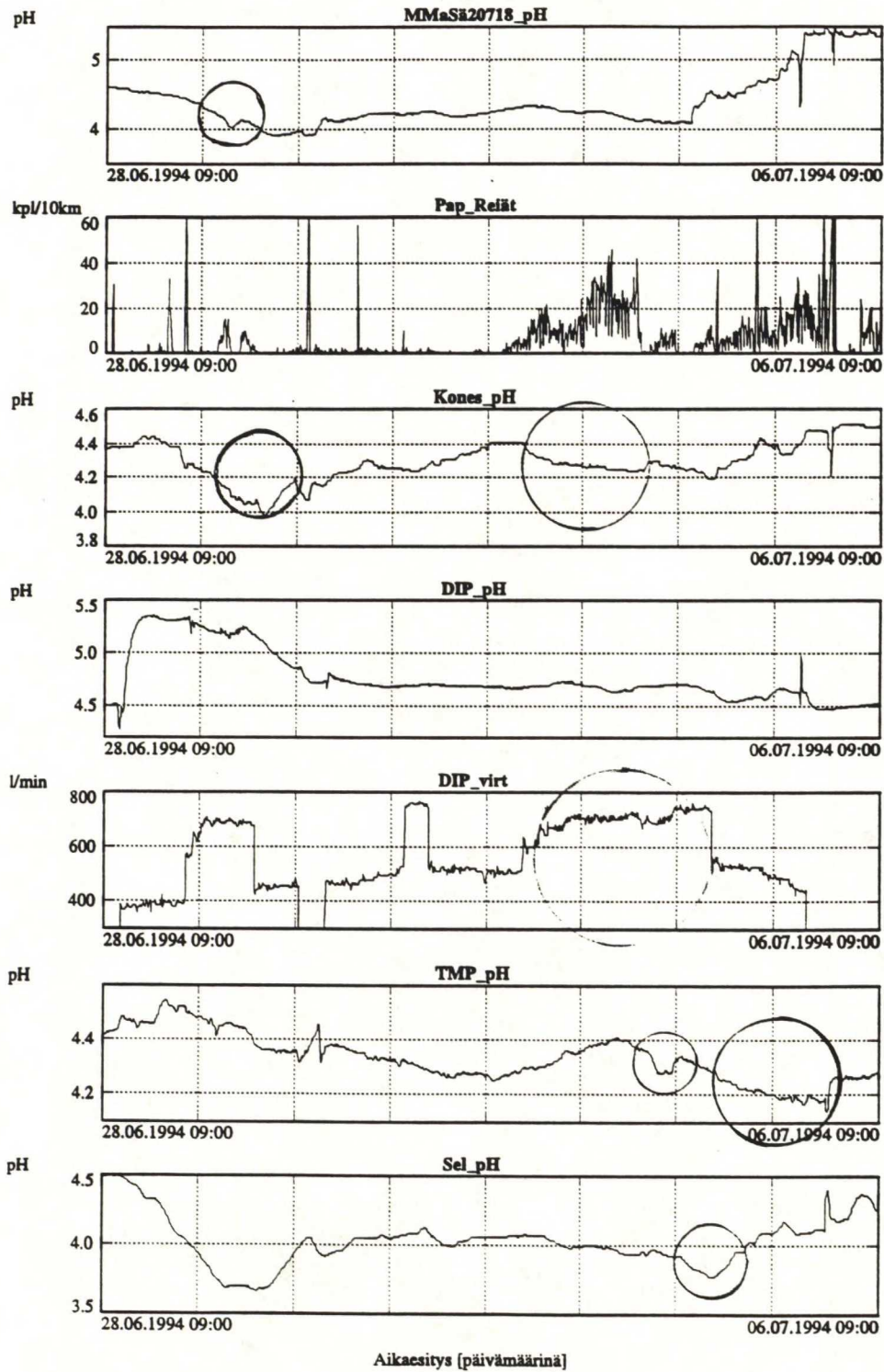
Kuva 2. Irrutusvaikeuksien, reikien sekä kemiallisen tilan muutosten yhteys.



Kuva 3. Kiertoveden COD-pitoisuus seurantajakson aikana.

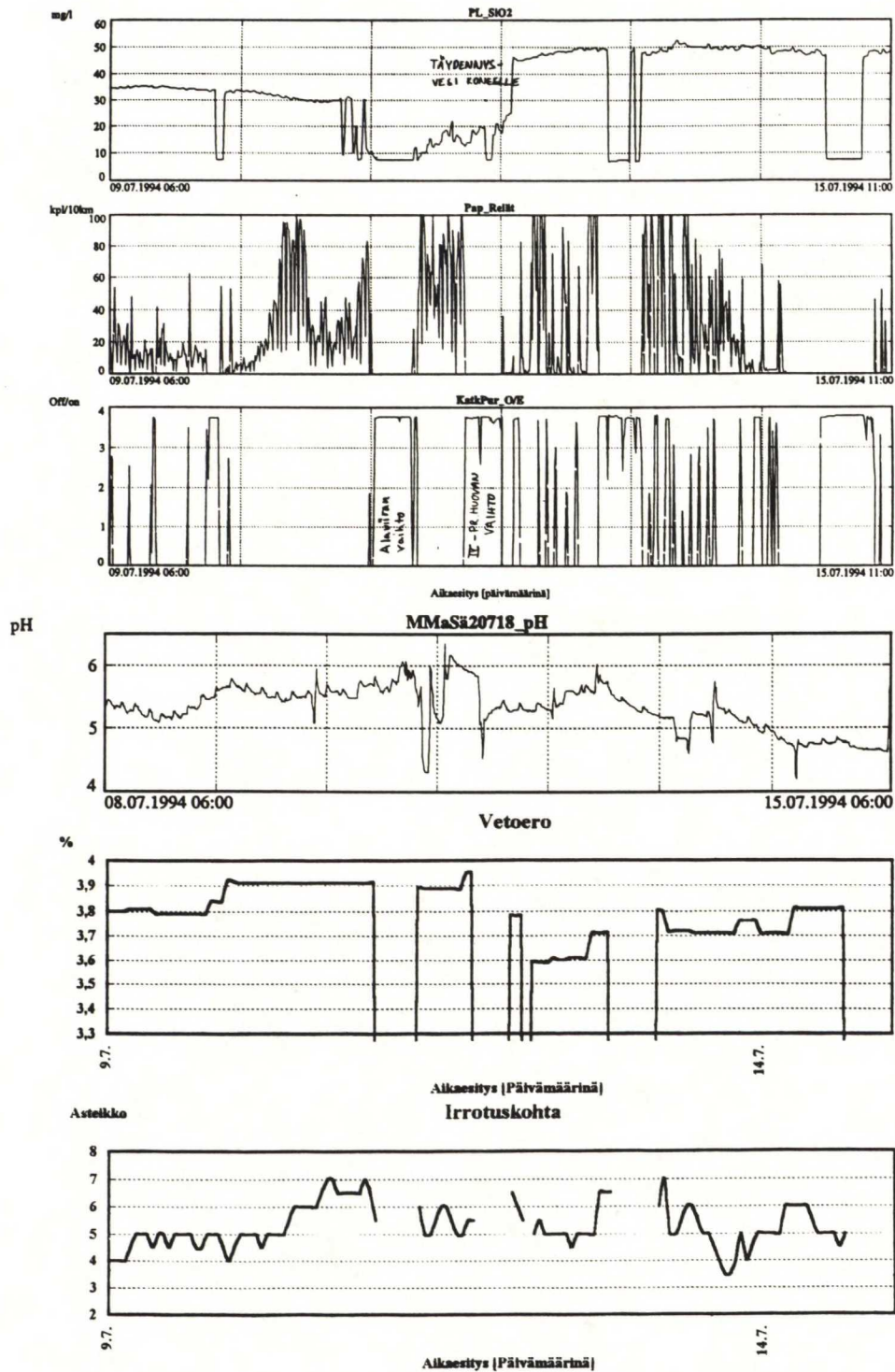


Kuva 4. Ditioniitin, pH:n, reikien ja COD-pitoisuuden väliset vuorovaikutukset.



Kuva 5. PH:n ja reikien riippuvuus.

LIITE 14. KEMIALLISEN TASAPAINOTILAN MUUTOS

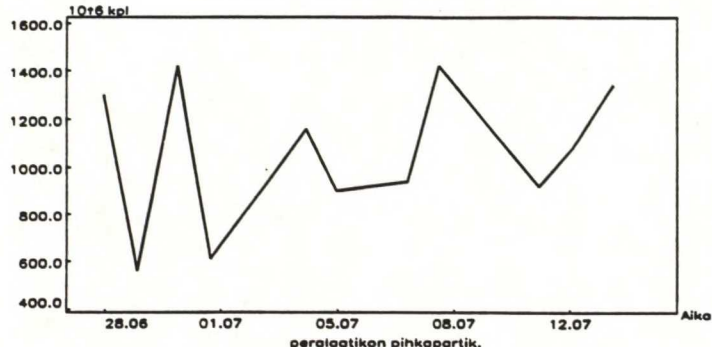


Kuva 1. Täydennysveden vaikutus kiertoveden silikaattipitoisuuteen sekä ra-
dan irrotukseen.

VIEREINEN KONE

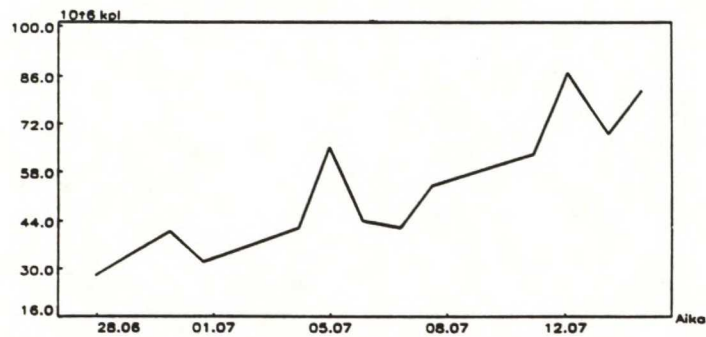
hierre 2:n pihkapartik.

27.06.1994 06.00 – 15.07.1994 09.00



peralaatikon pihkapartik.

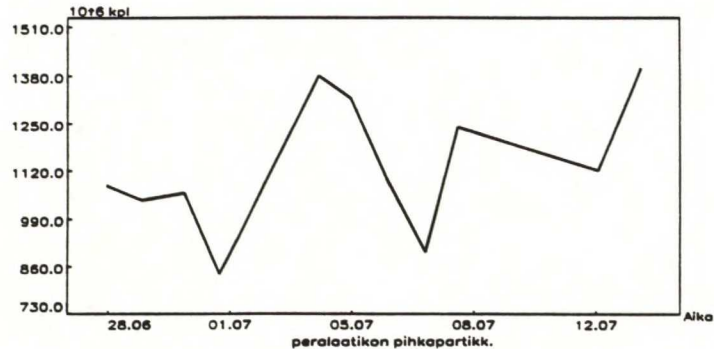
27.06.1994 06.00 – 15.07.1994 09.00



TUTKIMUSKOHDE

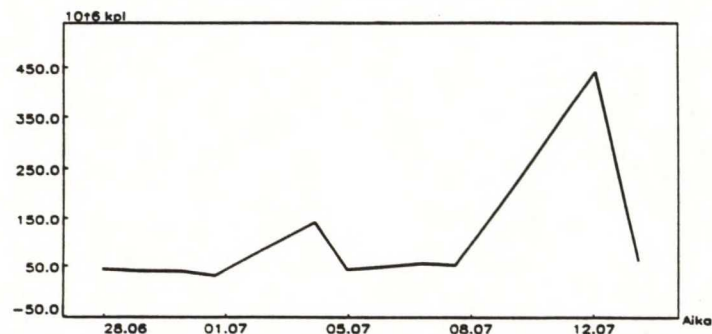
annosteluhiokkeen pihkap.

27.06.1994 06.00 – 14.07.1994 15.00

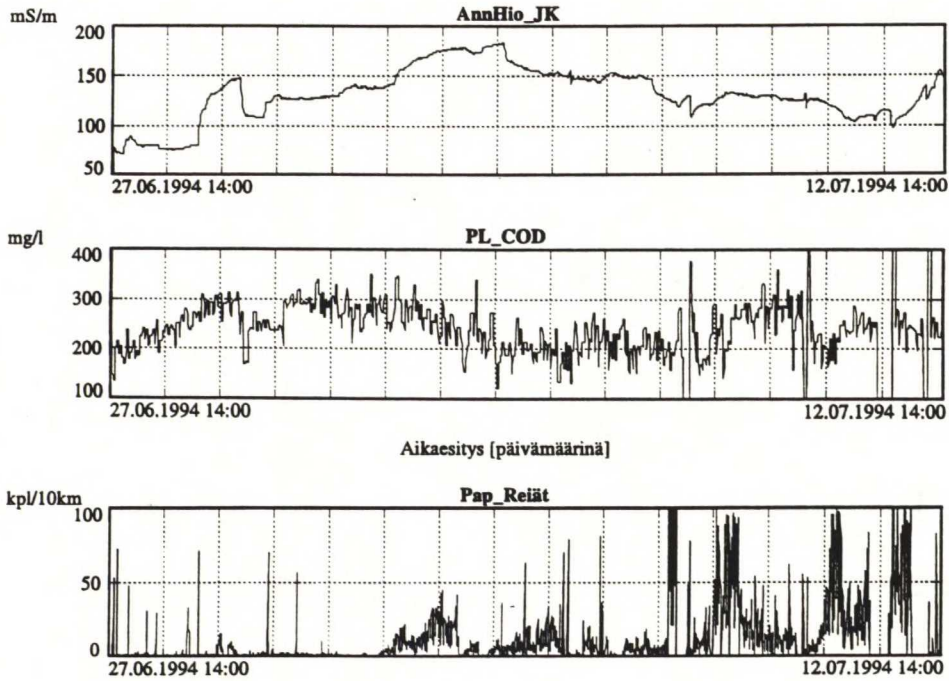


peralaatikon pihkapartikk.

27.06.1994 06.00 – 14.07.1994 15.00



Kuva 2. Täydennysveden vaikutus tutkimuskohteen pihkapartikkelien lukumäärään.



Kuva 3. Reikien, johtokyvyn ja COD-pitoisuuden mahdollinen yhteys.

LUKUSIIPPI

TEKNILLINEN KORKEAKOULU
Puunjalostustekniikan laitos
Kirjasto